



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERKUATAN TALUD PADA MULUT
TEROWONGAN DAN ALTERNATIF METODE
PELAKSANAAN PEKERJAAN TEROWONGAN
PADA PROYEK NOTOG BH 1440**

VIENA ANANDA ARI SEMBIENA
NRP. 03111440000085

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. PhD

Dosen Pembimbing II
Trihanyndio Rendy Satrya, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

PERKUATAN TALUD PADA MULUT TEROWONGAN DAN ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN TEROWONGAN PADA PROYEK NOTOG BH 1440

VIENA ANANDA ARI SEMBIENA
NRP. 03111440000085

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. PhD

Dosen Pembimbing II
Trihanyndio Rendy Satrya, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT (RC14-1501)

STRENGTH OF TALD ON THE MOUTH AND ALTERNATIVE METHOD OF IMPLEMENTATION OF EMPLOYMENT WORK ON NOTOG BH PROJECT 1440

VIENA ANANDA ARI SEMBIENA
NRP. 03111440000085

Academic Supervisor I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. PhD

Academic Supervisor II
Trihanydio Rendy Satrya, ST., MT.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geological Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**PERKUATAN TALUD PADA MULUT TEROWONGAN
DAN ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN
PEKERJAAN TEROWONGAN PADA PROYEK NOTOG
BH 1440**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VIENA ANANDA ARI SEMBIENA

NRP. 03111440000085

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochar, Msc, Ph.D.
2. Trihanyndio Rendy Satrya, ST., MT.



Indrasurya B. Mochar

Rendy

SURABAYA, JULI 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan ...

**PERKUATAN TALUD PADA MULUT TEROWONGAN
DAN ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN
PEKERJAAN TEROWONGAN PADA PROYEK NOTOG
BH 1440**

Nama	: Viena Ananda Ari Sembiena
NRP	: 03111440000085
Departemen	: Teknik Sipil
Dosen Pembimbing	: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. Ph.D Trihanydio Rendy Satrya, ST., MT.

ABSTRAK

Jalur kereta api Prupuk – Kroya merupakan jalur kereta yang menghubungkan antara jalur rel kereta api lintas utara Pulau Jawa (dari Cirebon) dengan jalur rel kereta api lintas selatan (dari Kroya). Jalur kereta api ini dibangun sepanjang kurang lebih 83 km. Rencana jalur ganda kereta api Prupuk – Kroya yang menghubungkan Stasiun Purwokerto hingga Stasiun Kroya melewati Bukit Gamping. Oleh karena itu, untuk mendukung pembangunan jalur ganda kereta api Prupuk – Kroya tersebut, diperlukan perencanaan terowongan yang akan melewati bukit Gamping pada sisi selatan terowongan yang telah ada sebelumnya. Dikarenakan terowongan tersebut melewati bukit Gamping pada Desa Notog maka dinamakan sebagai terowongan Notog BH 1440.

Setelah dilakukan pengambilan data tanah pada proyek perencanaan terowongan Notog BH 1440 ini, dianalisa akan ada kemungkinan terjadinya kelongsoran pada talud yang berada di kedua mulut terowongan. Hal ini disebabkan tidak adanya perencanaan perkuatan pada talud.

Hasil dari analisa yang dilakukan, menunjukkan bahwa kelongsoran terjadi karena kejadian sesungguhnya di lapangan tidak sama dengan asumsi yang ada. Perkuatan yang digunakan yaitu dengan menggunakan ground anchor. Untuk konstruksi ground anchor menggunakan subdrain, direncanakan panjang total 19 meter termasuk dengan panjang grouting 9 meter dan tensile load 55 ton, serta jarak antar ground anchor 2 meter.

Kata kunci : Ground Anchor, Rockbolt, Metode, Shotcrete, Talud.

**PERKUATAN TALUD PADA MULUT TEROWONGAN
DAN ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN
PEKERJAAN TEROWONGAN PADA PROYEK NOTOG
BH 1440**

Student Name	: Viena Ananda Ari Sembiena
NRP	: 03111440000085
Department/Faculty	: Teknik Sipil
Under Supervision	: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. Ph.D Trihanydio Rendy Satrya, ST., MT.

ABSTRACT

The Prupuk - Kroya railway line is a rail line connecting the northern railroad line of Java Island (from Cirebon) to the southern railway line (from Kroya). This railway line is built along approximately 83 km. The double track plan of Prupuk - Kroya railway connecting Purwokerto Station to Kroya Station passes Bukit Gamping. Therefore, to support the construction of double tracks of the Prupuk - Kroya railway, it is necessary to design a tunnel that will pass through the Gamping hill on the south side of the tunnel that has been there before. Because the tunnel passes the hill of Gamping at Notog Village, it is named as Tunnel Notog BH 1440.

After the data was collected on the Notog BH 1440 tunnel planning project, it was analyzed that there would be a possibility of a slump on the talus in the mouth of the tunnel. This is due to the absence of retrofitting planning on the talud.

The results of the analysis performed, indicating that the sliding occurs because the actual events in the field is not the same as the existing assumptions. Reinforcement used is by using ground

anchor. For a ground anchor construction using subdrain, a total length of 19 meters is planned, including 9 meters of grouting and 55 ton tensile load, and 2 meters of ground anchor distance.

Keywords : Ground Anchor, Rockbolt, Metode, Shotcrete, Talud.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perkuatan Lereng pada Mulut Terowongan dan Alternatif Metode Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan pada Proyek Notog BH 1440” ini dengan baik.

Harapan penulis dengan adanya laporan tugas akhir ini, penulis sebagai mahasiswa Teknik Sipil ITS mendapat pengetahuan dan pemahaman yang lebih mendalam tentang proses perencanaan serta pekerjaan proyek dengan benar.

Pada kesempatan ini pula, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada para pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc. PhD selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan saran dan kritik serta membimbing penulis selama penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Trihanydio Rendy Satrya, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan saran dan kritik serta membimbing penulis selama penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Kedua orang tua penulis yang selalu mendoakan dan memberikan support kepada penulis.
4. Segenap keluarga besar penulis yang selalu memberikan semangat, doa, dan waktunya kepada penulis.
5. Teman-teman penulis yang telah membantu dan memberikan support selama proses penulisan dan pengerjaan sehingga dapat terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
6. Beserta semua pihak yang turut membantu sehingga proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis membutuhkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan proposal tugas akhir penulis. Semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa, khususnya mahasiswa jurusan teknik sipil dan bagi pembaca pada umumnya.

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR (RC14-1501)	i
FINAL PROJECT (RC14-1501)	ii
PERKUATAN TALUD PADA MULUT TEROWONGAN DAN ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN TEROWONGAN PADA PROYEK NOTOG BH 1440	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Klasifikasi Tanah	7
2.1.1. Permeabilitas Tanah	8
2.1.2. Kemampuan dan Konsoliditas Tanah	8
2.1.3. Kekuatan Tegangan Geser Tanah	9
2.2. Data Boring	9
2.3. Klasifikasi Massa Batuan	11
2.3.1. <i>Rock Mass Rating System</i>	13
2.4. Faktor – faktor Penyebab Kelongsoran	17
2.4.1. Faktor Pengaruh Luar (Eksternal)	18
2.4.2. Faktor Pengaruh Dalam (Internal)	18
2.5. Stabilitas Lereng	18

2.6.	Perencanaan Perkuatan dengan <i>Ground Anchor</i> ...	20
2.6.1.	Komponen <i>Ground Anchor</i>	21
2.6.2.	Tipe – Tipe <i>Ground Anchor</i>	22
2.6.3.	Metode <i>Ground Anchor</i>	24
2.6.4.	Perencanaan <i>Ground Anchor</i>	27
2.7.	Perencanaan Perkuatan dengan <i>Rock Bolts</i>	29
2.8.	Program Bantu	30
2.8.1.	Plaxis	30
2.9.	Metode Pelaksanaan Terowongan (<i>Tunneling</i>).....	31
2.9.1.	Dasar Teori	32
2.9.2.	Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	33
2.9.3.	Macam-macam Metode Pelaksanaan Terowongan menurut Material Tanahnya.....	36
BAB III.....	.....	39
METODOLOGI .....	.....	39
3.1.	Bagan Alir	39
BAB IV .....	.....	43
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	.....	43
4.1.	<i>Lay Out</i> Terowongan Notog BH 1440.....	43
4.2.	Analisa Data Tanah.....	44
4.2.1.	Lokasi Data Tanah.....	44
4.2.2.	Penyelidikan Lapisan Tanah	44
4.2.3.	Analisis Parameter Tanah	49
4.3.	Analisis Kondisi Eksisting Sebelum diberikan Perkuatan.....	53
4.4.	Analisis Stabilitas Talud dengan Program Bantu ..	53
4.4.1.	Program Bantu Xstable	53
4.5.	Perhitungan Perkuatan Talud	60
4.5.1.	<i>Ground Anchor</i>	60
4.6.	Metode Pelaksanaan.....	70
4.7.	Rencana Anggaran Biaya.....	71
BAB V METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN TEROWONGAN.....	.....	73
5.1.	Dasar Teori	73
5.1.1.	Bentuk Terowongan dan Elemen Internal.....	73

5.1.2.	Kelas Jalan dan Ukuran Jalan	75
5.1.3.	Kapasitas Lalu Lintas	75
5.2.	Metode Pelaksanaan Pekerjaan Alternatif	75
5.2.1.	Pekerjaan Proteksi Portal Terowong	75
5.2.2.	Pekerjaan <i>Drilling</i>	78
5.2.3.	Pekerjaan <i>Charging</i> dan <i>Blasting</i>	81
5.2.4.	Pekerjaan <i>Mucking, Scaling</i> dan <i>Chipping</i>	89
5.2.5.	Pekerjaan Pemasangan Penyangga Awal Terowong	91
5.2.6.	Pekerjaan Pemasangan <i>Steel support</i>	98
5.2.7.	Pekerjaan <i>Linning Concrete</i>	101
BAB VI.....		109
KESIMPULAN.....		109
6.1. Kesimpulan		109
DAFTAR PUSTAKA		110
LAMPIRAN.....		111

Halaman ini sengaja dikosongkan ...

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Jalur Kereta Api Prupuk – Kroya.....	2
Gambar 1.2 Peta Rute Jalur Kereta Api Prupuk – Kroya pada Bukit Gamping.....	3
Gambar 1.3 Peta Perencanaan Terowongan Notog BH 1440	4
Gambar 2.1 Prosedur Pengukuran RQD.....	15
Gambar 2.2 Pengukuran Bidang Diskontinuiti dengan Metode <i>Scanlin</i>	16
Gambar 2.3 Kelongsoran Talud.....	19
Gambar 2.4 Komponen <i>Ground Anchor</i>	21
Gambar 2.5 Tipe – Tipe <i>Ground Anchor</i>	23
Gambar 2.6 Metode Jangkar dengan Tabung Tekanan.....	24
Gambar 2.7 Metode Jangkar dengan Inti yang Dipancang	25
Gambar 2.8 Metode Pelat Jangkar.....	26
Gambar 2.9 Metode Jangkar dengan Membesarkan Bagian Bawah	26
Gambar 2.10 Pembagian Elemen-Elemen Segitiga Pada Model 31	
Gambar 2.11 Posisi Titik Nodal dan Tegangan Pada Elemen Segitiga	31
Gambar 3.1 Bagan Alir	40
Gambar 4.1 Terowongan Notog BH 1440.....	43
Gambar 4.2 Lokasi Pengujian Tes Bor.....	44
Gambar 4.3 Profil Tanah Terowongan Notog BH 1440	45
Gambar 4.4 Profil Tanah Memanjang B-5 dan B-.....	45
Gambar 4.5 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 7 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440	54
Gambar 4.6 Hasil Analisa Momen dan <i>Safety Factor</i> pada Talud di Bagian Kiri pada 7 meter di depan Pintu Terowongan	55
Gambar 4.7 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 7 Meter Bagian Kanan di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440.....	55
Gambar 4.8 Hasil Analisa Momen dan <i>Safety Factor</i> pada Talud di Bagian Kanan pada 7 meter di depan Pintu Terowongan	56

Gambar 4.9 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440	57
Gambar 4.10 Hasil Analisa Momen dan <i>Safety Factor</i> pada Talud di Bagian Kiri pada 9 meter di depan Pintu Terowongan	57
Gambar 4.11 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kanan di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440.....	58
Gambar 4.12 Hasil Analisa Momen dan <i>Safety Factor</i> pada Talud di Bagian Kanan pada 9 meter di depan Pintu Terowongan	58
Gambar 4.13 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440	59
Gambar 4.14 Hasil Analisa Momen dan <i>Safety Factor</i> pada Talud di Bagian Kiri pada 9 meter di depan Pintu Terowongan	60
Gambar 4.15 Sketsa Bidang Longsor Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kiri.....	61
Gambar 4.16 Sketsa Bidang Longsor Talud untuk $SF = 0.928$ di Depan Terowongan Bagian Kiri.....	61
Gambar 4.17 Sketsa Pemasangan <i>Ground Anchor</i>	62
Gambar 4.18 Sketsa Hasil Perhitungan Pemasangan <i>Ground Anchor</i>	64
Gambar 4.19 Sketsa Bidang Longsor Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kanan.....	65
Gambar 4.20 Sketsa Bidang Longsor Talud untuk $SF = 0.974$ di Depan Terowongan Bagian Kanan.....	65
Gambar 4.21 Sketsa Pemasangan <i>Ground Anchor</i>	66
Gambar 4.22 Sketsa Hasil Perhitungan Pemasangan <i>Ground Anchor</i>	67
Gambar 4.23 Sketsa Bidang Longsor Talud Potongan Memanjang	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan N-SPT dengan D_r , γ , q_u , ϕ , dan Jenis Tanah (J. E. Bowles, 1984)	10
Tabel 2.2 Hubungan Jenis Tanah dan <i>Poisson Ratio</i> (J. E. Bowles, 1984)	10
Tabel 2.3 Hubungan Jenis Tanah dan <i>Modulus Young</i> (J. E. Bowles, 1984)	11
Tabel 2.4. Sistem Klasifikasi Massa Batuan.....	13
Tabel 2.5 Hubungan nilai SF dan kemungkinan longsor tanah ..	19
Tabel 2.6 Harga Nc' , Nq' , $N\gamma'$ (Caquot dan Kerisel)	29
Tabel 4.1 Rekap Nilai N-SPT Titik Bor B-5	45
Tabel 4.2 Rekap Nilai N-SPT Titik Bor B-6	46
Tabel 4. 3 Nilai N-SPT pada Mulut Terowongan.....	47
Tabel 4.4 Rekap Perbandingan N-SPT Titik Bor B-5 dan B-6 sesuai Elevasi Mulainya Pengeboran.....	48
Tabel 4. 5 Parameter Tanah Titik Bor B-5	50
Tabel 4. 6 Parameter Tanah Titik Bor B-6	50
Tabel 4. 7 Parameter Tanah pada Mulut Terowongan	50
Tabel 4.8 Parameter Tanah di Bawah <i>Surface Soil</i> Titik Bor B-5 dan B-6.....	51
Tabel 4. 9 Parameter Tanah di Bawah <i>Surface Soil</i> pada Mulut Terowongan	52
Tabel 4.10 Variasi Hasil Analisa Stabilitas Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kiri.....	61
Tabel 4.11 Variasi Hasil Analisa Stabilitas Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kanan.....	64
Tabel 4.12	67
Tabel 4. 13 Perhitungan Biaya Material Perkuatan dengan <i>Ground Anchor</i>	71

Halaman ini sengaja dikosongkan ...

BAB I

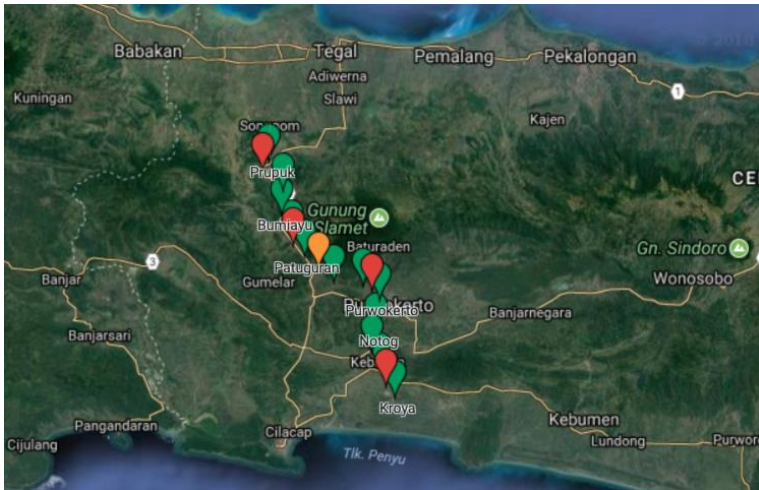
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kereta api adalah bentuk transportasi rel yang terdiri dari serangkaian kendaraan yang ditarik sepanjang jalur kereta api untuk mengangkut kargo atau penumpang. Alat transportasi satu ini tidak bisa terlepas dari kehidupan masyarakat Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Sebagian besar dari transportasi rel Indonesia terletak di Pulau Jawa.

Pada Pulau Jawa, terdapat 25 jalur kereta api yang masih aktif beroperasi untuk mempermudah masyarakat dalam berpergian. Kedua puluh lima jalur kereta api ini hampir menghubungkan seluruh kota – kota besar pada Pulau Jawa. Salah satu jalur yang masih aktif digunakan adalah jalur kereta api Prupuk – Kroya.

Jalur kereta api Prupuk – Kroya merupakan jalur kereta yang menghubungkan antara jalur rel kereta api lintas utara Pulau Jawa (dari Cirebon) dengan jalur rel kereta api lintas selatan (dari Kroya). Jalur kereta api ini dibangun sepanjang kurang lebih 83 km. Pada jalur kereta api ini dioperasikan oleh Daerah Operasi V Purwokerto. Saat ini, jalur ini tengah ditingkatkan dari jalur rel tunggal menjadi jalur rel ganda untuk mendukung semakin meningkatnya frekuensi lalu-lintas kereta api yang lewat. (Sumber: Wikipedia)



Gambar 1.1 Peta Jalur Kereta Api Prupuk – Kroya

(Sumber: Google maps)

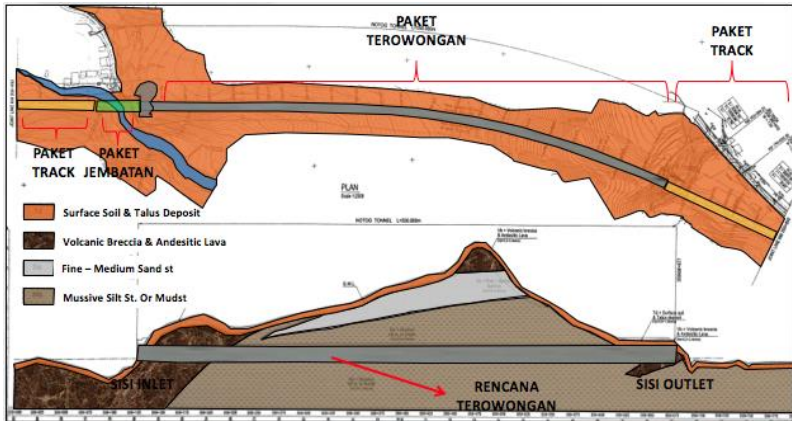
Pembangunan jalur ganda pada jalur kereta api Prupuk – Kroya ini berada di Stasiun Purwokerto hingga Stasiun Kroya. Berbeda dengan kebanyakan jalur kereta api di Pulau Jawa, perencanaan jalur ganda yang menghubungkan Stasiun Purwokerto hingga Stasiun Kroya ini direncanakan akan menembus bukit atau lebih sering dikenal dengan Bukit Gamping pada Desa Noto Kecamatan Patikraja.



Gambar 1.2 Peta Rute Jalur Kereta Api Prupuk – Kroya pada Bukit Gamping

(Sumber: PT. PP (Persero) Tbk, Purwokerto *Tunnel Project*)

Dapat diperhatikan pada Gambar 1.2 digambarkan rencana jalur ganda kereta api Prupuk – Kroya yang menghubungkan Stasiun Purwokerto hingga Stasiun Kroya melewati Bukit Gamping. Oleh karena itu, untuk mendukung pembangunan jalur ganda kereta api Prupuk – Kroya tersebut, diperlukan perencanaan terowongan yang akan melewati bukit Gamping pada sisi selatan terowongan yang telah ada sebelumnya. Dikarenakan terowongan tersebut melewati bukit Gamping pada Desa Notog maka dinamakan sebagai terowongan Notog BH 1440.



Gambar 1.3 Peta Perencanaan Terowongan Notog BH 1440

(Sumber: PT. PP (Persero) Tbk, Purwokerto *Tunnel Project*)

Berdasarkan Gambar 1.3 perencanaan terowongan Notog BH 1440 dapat dilihat bahwa terowongan ini memiliki panjang 550 m. Dengan menggunakan data tanah yang telah diambil serta lokasi pembangunan terowongan yang terletak pada daerah perbukitan maka direncanakan terowongan ini akan dibangun dengan menggunakan *New Austrian Tunneling Method* (NATM). Sederhananya, metode ini digunakan untuk membangun *tunnel* menggunakan penyangga besi baja sehingga memiliki ketahanan yang luar biasa.

Setelah dilakukan pengambilan data tanah pada proyek perencanaan terowongan Notog BH 1440 ini, dianalisa akan ada kemungkinan terjadinya kelongsoran pada talud yang berada di kedua mulut terowongan. Hal ini disebabkan tidak adanya perencanaan perkuatan pada talud. Oleh karena itu, dalam rangka menghindari kelongsoran yang mungkin terjadi akan direncanakan perkuatan talud pada mulut terowongan dan alternatif metode pelaksanaan pekerjaan terowongan Notog BH 1440. Perkuatan talud akan direncanakan dengan menggunakan *ground anchor* dan *rockbolt*. Alasan dipilihnya *ground anchor* dan *rockbolt* sebagai perencanaan perkuatan talud dikarenakan dianggap sesuai dengan

kondisi tanah dan lingkungan yang ada serta mampu menghemat waktu konstruksi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan dibahas di Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisa stabilitas talud yang digunakan pada mulut terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440?
2. Bagaimana perencanaan perkuatan yang dilakukan pada mulut terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440?
3. Bagaimana analisa metode pekerjaan dan estimasi biaya dari segi material untuk perencanaan perkuatan yang dilakukan pada mulut terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440?
4. Bagaimana analisa alternatif metode pelaksanaan pekerjaan terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan dalam Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Data tanah yang digunakan adalah data tanah sekunder.
2. Tidak merencanakan perkerasan jalan.
3. Tidak merencanakan struktur terowongan.
4. Hanya menghitung harga material yang dibutuhkan untuk perkuatan talud.

1.4. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah merencanakan perkuatan talud pada mulut terowongan dan alternatif metode pelaksanaan pekerjaan terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440.

1.5. Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan menjadi suatu perencanaan perkuatan talud pada mulut terowongan dan alternatif metode pelaksanaan pekerjaan terowongan di proyek Terowongan Notog BH 1440.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Klasifikasi Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Ukuran dari partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Berdasarkan ukuran partikelnya, tanah dibagi menjadi 4 (empat) jenis yaitu: kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*).

Secara umum dari hasil survei lapangan dan tes laboratorium tanah memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Braja M Das, 1998):

1. Permeabilitas tanah
2. Kemampuan dan konsoliditas tanah
3. Kekuatan tegangan geser tanah
4. Klasifikasi tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah antara lain: bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Secara umum, tanah dapat dimasukkan ke dalam 2 (dua) kelompok berdasarkan sifat lekatnya yaitu tanah tak berkohesi (*cohesionless soil*) dan tanah kohesif (*cohesive soil*). Tanah tak berkohesi adalah tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antar butirnya seperti pasir. Sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung.

2.1.1. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kecepatan air menembus tanah pada periode tertentu dan dinyatakan dalam cm/jam (Foth, 1978). Sedangkan menurut Hakim dkk. (1986) permeabilitas tanah adalah menyatakan kemampuan tanah melalukan air yang bisa diukur dengan menggunakan air dalam waktu tertentu.

Nilai permeabilitas penting dalam menentukan penggunaan dan pengelolaan praktis tanah. Permeabilitas mempengaruhi penetrasi akar, laju penetrasi air, laju absorpsi air, drainase internal dan pencucian unsur hara (Donahue, 1984).

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah menurut Hillel (1971) antara lain adalah tekstur tanah, porositas distribusi ukuran pori, stabilitas agregat, stabilitas struktur tanah serta kadar bahan organik. Hubungan yang lebih utama terhadap permeabilitas tanah adalah distribusi ukuran pori sedangkan faktor-faktor yang lain hanya ikut menentukan porositas dan distribusi ukuran pori. Tekstur kasar mempunyai permeabilitas yang tinggi dibandingkan dengan tekstur halus karena tekstur kasar mempunyai pori makro dalam jumlah banyak sehingga umumnya tanah yang didominasi oleh tekstur kasar seperti pasir umumnya mempunyai tingkat erodibilitas tanah yang rendah.

Ada 2 (dua) macam permeabilitas yaitu: permeabilitas jenuh dan tak jenuh. Permeabilitas jenuh (aliran jenuh) adalah permeabilitas terjadi apabila seluruh pori terisi oleh air. Nilai permeabilitas ditentukan dengan data lapangan dan data analisis laboratorium berbeda dengan nilai permeabilitas tanah dalam keadaan jenuh.

2.1.2. Kemampuan dan Konsoliditas Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada

tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam 2 (dua) kelompok besar, yaitu:

1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

2.1.3. Kekuatan Tegangan Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relative antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

1. Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*).
2. Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam (ϕ *soil*).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (*c* dan ϕ *soil*), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

2.2. Data Boring

Pengeboran merupakan cara yang paling awal dan mudah dalam penyelidikan tanah. Maksud dari pekerjaan bor ini adalah

untuk mengidentifikasi kondisi tanah sampai kedalaman yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan untuk merencanakan pondasi, timbunan tanah, khususnya untuk penanggulangan longsoran. Pekerjaan ini menggunakan mesin bor dan tabung untuk mengambil contoh tanah tak terganggu. Selain itu, dilakukan *Standart Penetration Test* (SPT) pada setiap interval tertentu. Korelasi N-SPT dapat digunakan untuk mendapatkan nilai parameter tanah yang digunakan dalam desain seperti D_r , ν , γ , dan ϕ . Korelasi nilai N-SPT dengan parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Hubungan N-SPT dengan D_r , γ , q_u , ϕ , dan Jenis Tanah (J. E. Bowles, 1984)

<i>Cohesionless Soil</i>					
N (blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
γ (kN/m ³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
ϕ (°)	-	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
D_r (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100
<i>Cohesive Soil</i>					
N (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ (kN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
<i>Concistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Tabel 2.2 Hubungan Jenis Tanah dan *Poisson Ratio* (J. E. Bowles, 1984)

Material	Poisson Ratio (ν)
<i>Sand</i>	
<i>Dense</i>	0.3 – 0.4
<i>Loose</i>	0.2 – 0.25
<i>Fine</i> ($e = 0.4 – 0.7$)	0.25
<i>Coarse</i> ($e = 0.4 – 0.7$)	0.15

Tabel 2.3 Hubungan Jenis Tanah dan *Modulus Young* (J. E. Bowles, 1984)

Jenis Tanah	E_s (ksi)	E_s (kg/cm ²)
<i>Clay</i>		
<i>Very Soft</i>	0.05 – 0.4	3 – 30
<i>Soft</i>	0.2 – 0.6	20 – 40
<i>Medium</i>	0.6 – 1.2	45 – 90
<i>Hard</i>	1 – 3	70 – 200
<i>Sandy</i>	4 – 6	300 – 425
<i>Glacial Fill</i>	1.5 – 22	100 – 1600
<i>Loose</i>	2 – 8	150 – 600
<i>Sand</i>		
<i>Silty</i>	1 – 3	50 – 200
<i>Loose</i>	1.5 – 3.5	100 – 250
<i>Dense</i>	7 – 12	500 – 1000
<i>Sand and Gravel</i>		
<i>Dense</i>	14 – 28	800 – 2000
<i>Loose</i>	7 – 20	500 – 1400
<i>Shales</i>	20 – 2000	1400 – 14000
<i>Silt</i>	0.3 – 3	20 – 200

2.3. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan sangat berguna pada tahap studi kelayakan dan desain awal suatu proyek perkuatan talud pada daerah perbukitan, dimana sangat sedikit informasi yang tersedia tentang massa batuan dan tegangan serta karakteristik hidrogeologi massa batuan tersebut. Namun klasifikasi massa batuan tidak dimaksudkan dan tidak dapat menggantikan desain rinci, sebab untuk desain rinci diperlukan informasi yang lebih lengkap lagi tegangan insitu, sifat massa batuan dan arah penggalian yang biasanya belum tersedia pada tahap awal proyek. Secara sederhana klasifikasi ini digunakan sebagai sebuah *check list* untuk

memastikan apakah seluruh informasi penting mengenai massa batuan sudah dimasukkan ke dalam desain.

Dalam menggunakan klasifikasi massa batuan, sangat direkomendasikan untuk tidak hanya menggunakan 1 (satu) metode klasifikasi saja, tetapi juga menggunakan metode lainnya yang dapat digunakan sebagai pembandingan hasil yang diperoleh dari tiap metode.

Menurut Bieniawski (1989), tujuan dari klasifikasi massa batuan adalah:

1. Menentukan parameter yang terpenting yang mempengaruhi perilaku massa batuan.
2. Membagi formasi massa batuan yang khusus ke dalam kelompok yang mempunyai perilaku sama, yaitu kelas massa batuan dengan berbagai kualitas.
3. Memberikan dasar untuk pengertian karakteristik dari tiap kelas massa batuan.
4. Menghubungkan pengalaman dari kondisi massa batuan di suatu lokasi dengan pengalaman yang ditemui di lokasi lain.
5. Memberikan data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (*engineering design*).
6. Memberikan dasar umum untuk komunikasi diantara para insinyur dan geologiwan.

Sistem klasifikasi yang paling banyak dipakai pada proyek-proyek bawah tanah saat ini adalah *Geomechanics Classification* atau lebih dikenal dengan *Rock Mass Rating (RMR) system*, dan *Rock Tunneling Quality Index (Q) system*. Kedua sistem klasifikasi ini memakai parameter *Rock Quality Designation (RQD)* yang diperkenalkan oleh Deere pada tahun 1964. Selain RMR dan *Q-system*, menurut Palmstrom (2000) terdapat beberapa sistem klasifikasi lainnya, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Sistem Klasifikasi Massa Batuan

NAME	FORM AND TYPE	MAIN APPLICATIONS	REFERENCES
The Terzaghi Rock load Classification System	Descriptive and behaviouristic form functional type	Design steel support in tunnel	Terzaghi, 1946
Lauffer's Stand up time Classification	Descriptive form Functional type	Input in tunneling design	Lauffer, 1958
The New Australian Tunneling Methode (NATM)	Descriptive and Behaviouristic form Tunneling Concept	For excavation and design in incompetent (overstress) ground	Rabcewicz, Muller and Pacher, 1958-64
Rock Classification for rock mechanical purposes	Descriptive form General type	For input in rock mechanics	Patching and Coates, 1968
Unified Kclassification of soils and rocks	Descriptive Form General type	Based on particles and blocks for communications	Deere at al, 1969
The Rock Quality Designation	Numerical Form General type	Based on core logging, used in other classification system	Deere at al, 1967
The Size strength Classification	Numerical form Functional type	Based on rock strength and block diameter, used mainly in mine	Franklin, 1975
The Rock Structure Rating Classification	Numerical form Functional type	For design of (steel) support in tunnel	Wickham et al, 1972
The Rock Mass Rating Classification	Numerical form Functional type	For use in tunnel, mine and foundation design	Bieniawski, 1973
The Q Classification	Numerical form Functional type	For Design of Support in Underground Excavation	Barton et al, 1974
The Typological Classification	Descriptive Form General type	For use in communication	Matula and Holzer, 1978
The Unified Rock Classification System	Descriptive Form General type	For use in communication	Williamson, 1980
Basic Geotechnical Classification (BGC)	Descriptive Form General type	For general use	ISRM, 1981
Geological Strength Index (GSI)	Numerical form Functional type	For design of support in underground excavation	Hoek, 1994
The Rock Mass Index (RMI) System	Numerical form Functional type	For general characterization, design of support, TBM progress	Palmstrom, 1995

(Sumber: Palmstrom, 2000)

2.3.1. *Rock Mass Rating System*

Metode klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) merupakan metode yang sederhana dalam penggunaannya, dan parameter-parameter yang digunakan dalam metode ini dapat diperoleh baik dari data lubang bor maupun dari pemetaan struktur bawah tanah. Metode ini dapat diaplikasikan dan disesuaikan untuk situasi yang berbeda-beda seperti tambang batubara, tambang pada batuan kuat (*hard rock*), kestabilan lereng, kestabilan pondasi, dan untuk kasus terowongan.

Dalam menerapkan sistem ini, massa batuan dibagi menjadi seksi-seksi menurut struktur geologi dan masing-masing seksi diklasifikasikan secara terpisah. Batas-batas seksi umumnya struktur geologi mayor seperti patahan atau perubahan jenis batuan. Dalam mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan sistem klasifikasi RMR, Bieniawski menggunakan 5 (lima) parameter utama, yaitu:

- *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) batuan
- *Rock Quality Designation* (RQD)
- *Joint spacing* atau spasi bidang diskontinu
- Kondisi bidang diskontinu
- Kondisi dari *ground water*

Berikut ini sekilas penjelasan mengenai kelima parameter yang dipakai dalam sistem klasifikasi RMR.

a. *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)

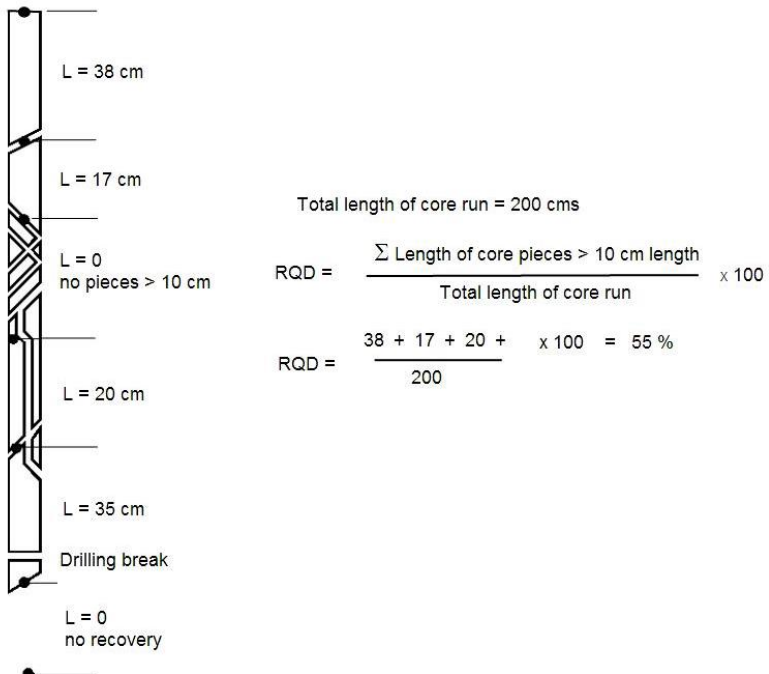
Uniaxial Compressive Strength (UCS) adalah kekuatan dari batuan utuh (*intact rock*) yang diperoleh dari hasil uji UCS. Uji UCS menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel batuan dari satu arah (*uniaxial*). Nilai UCS merupakan besar tekanan yang harus diberikan sehingga membuat batuan pecah. Sedangkan *point load index* merupakan kekuatan batuan batuan lainnya yang didapatkan dari uji *point load*. Jika UCS memberikan tekanan pada permukaan sampel, pada uji *point load*, sampel ditekan pada satu titik. Untuk sampel dengan ukuran 50 mm, Bieniawski mengusulkan hubungan antara nilai *point load strength index* (I_s) dengan UCS adalah $UCS = 23 I_s$. Pada umumnya satuan yang dipakai untuk UCS dan I_s adalah MPa.

b. *Rock Quality Designation* (RQD)

RQD didefinisikan sebagai prosentase panjang *core* utuh yang lebih dari 10 cm terhadap panjang total *core run*. Diameter *core* yang dipakai dalam pengukuran minimal 54.7 mm. Dan harus dibor dengan *double-tube core barrel*. Perhitungan RQD

mengabaikan *mechanical fracture* yaitu *fracture* yang dibuat secara sengaja atau tidak selama kegiatan pengeboran atau pengukuran (Hoek, dkk. 1995).

Menurut Deere (1967) prosedur pengukuran RQD dapat dilihat pada Gambar 2.1.



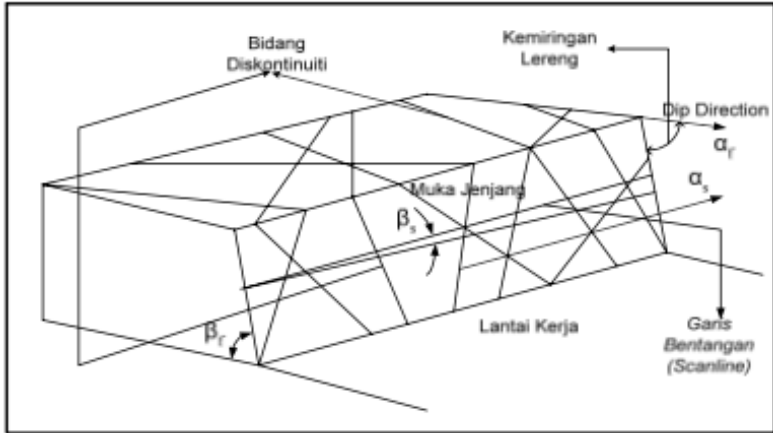
Gambar 2.1 Prosedur Pengukuran RQD

(Sumber: After Deere, 1989)

c. Joint Spacing

Spasi bidang diskontinu adalah jarak tegak lurus antara bidang-bidang diskontinuitas yang mempunyai kesamaan arah (satu keluarga) yang berurutan sepanjang garis pengukuran (*scanline*) yang dibuat sembarang.

Kramadibrata (2002) memberikan persamaan untuk menghitung spasi rata-rata antar bidang diskontinuitas (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Pengukuran Bidang Diskontinuiti dengan Metode Scanlin

(Sumber: Kramadibrata, Suseno, 2002)

$$d_{(i,i+1)} = J_{(i,i+1)} \cos \frac{\theta_i + \theta_{(i+1)}}{2} \quad (2-1)$$

$$\cos \theta = \cos(\alpha_n - \alpha_s) \cos \beta_n \cos \beta_s + \sin \beta_n \sin \beta_s \quad (2-2)$$

$$\alpha_d < 180, \alpha_n = \alpha_d + 180 \quad (2-3)$$

$$\alpha_d > 180, \alpha_n = \alpha_d - 180 \quad (2-4)$$

$$\beta_n = 90 - \beta_d \quad (2-5)$$

dimana,

$d_{(i,i+1)}$ = jarak sebenarnya antara 2 kekar yang berurutan dalam satu (m)

$J_{(i,i+1)}$ = jarak semu antara 2 kekar yang berurutan dalam satu set (m)

θ = sudut normal

α_n = arah dip dari garis normal

- α_d = arah dip dari kekar (dalam gambar ditunjukkan dengan α_f)
 α_s = arah dip dari *scanline*
 β_n = dip dari garis normal
 β_d = dip dari kekar (dalam gambar ditunjukkan dengan β_f)
 β_s = sudut kemiringan *scanline*

Persamaan Kramadibrata diatas ini akan digunakan untuk menghitung nilai RMR pada dinding crosscut dan drift yang telah di *scanline*. Hal ini sedikit banyak akan mempengaruhi penilaian RMR pada *core log* (hasil pemboran inti).

d. *Joint Condition*

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu. Parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- *Roughness*
- *Separation*
- *Continuity*
- *Weathering*
- *Infilling*

e. Kondisi Air Tanah

2.4. Faktor – faktor Penyebab Kelongsoran

Tanah mempunyai sifat-sifat fisik seperti berat jenis, sudut geser, dan kohesi yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan juga mempengaruhi stabilitas talud. Stabilitas talud merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah. Faktor – faktor penyebab ketidakstabilan talud dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok besar (Terzaghi).

2.4.1. Faktor Pengaruh Luar (Eksternal)

Faktor eksternal terjadi akibat meningkatnya tegangan geser yang terjadi pada tanah sehingga *safety factor* nya menurun ($SF < 1$). Hal ini disebabkan karena faktor – faktor sebagai berikut:

- Kaki talud tererosi oleh aliran sungai atau air hujan.
- Adanya kegiatan galian pada talud.
- Air hujan yang tertahan di atas talud.
- Berat akibat timbunan tanah para talud.
- Berat bangunan di atas talud.
- Perubahan geometri talud akibat pergerakan tektonik dan gempa bumi.

2.4.2. Faktor Pengaruh Dalam (Internal)

Faktor internal terjadi akibat penurunan kekuatan geser tanah, penyebabnya antara lain:

- Peningkatan kadar air yang terjadi pada tanah lempung.
- Struktur geologi dan keadaan geometri talud.
- Absorpsi oleh mineral lempung yang diikuti oleh penurunan harga kohesi tanah.
- Penyusutan tanah lempung yang dapat menimbulkan retak susut.
- Perubahan berat volume dan tekanan air pori tanah.

2.5. Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan suatu lereng. Sebuah lereng dikatakan longsor ataupun stabil ditentukan oleh angka keamanan (*safety factor*). Angka keamanan didefinisikan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2-6)$$

dimana,

F_s = angka keamanan rencana.

τ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah.

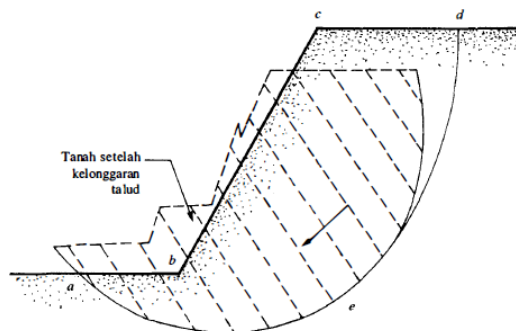
τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Dalam rangka menentukan terjadi atau tidaknya kelongsoran sebuah lereng, Tabel 2.5 menunjukkan hubungan nilai *safety factor* dan kemungkinan longsor tanah (Bowles, J.E, 1989). Gambar 2.3 menunjukkan kelongsoran talud.

Tabel 2.5 Hubungan nilai SF dan kemungkinan longsor tanah

Nilai SF	Kemungkinan Longsor
<1,07	Kelongsoran biasa terjadi (lereng labil)
1,07<SF<1,25	Kelongsoran pernah terjadi (lereng kritis)
>1,25	Kelongsoran jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber: M. Braja Das)



Gambar 2.3 Kelongsoran Talud

(Sumber: M. Braja Das)

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter, yaitu kohesi dan sudut geser tanah, dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2-7)$$

dimana,

c = kohesi.

\emptyset = sudut geser tanah.

Σ = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor.

Dengan cara yang sama, maka dapat dituliskan persamaan untuk tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor, sebagai berikut:

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \emptyset_d \quad (2-8)$$

dimana,

c_d = kohesi.

\emptyset_d = sudut geser tanah yang bekerja sepanjang bidang longsor

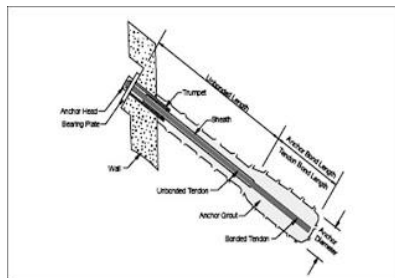
Dengan memasukkan persamaan (2-2) dan (2-3) ke dalam persamaan (2-1), maka didapatkan:

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \emptyset}{c_d + \sigma \tan \emptyset_d} \quad (2-9)$$

2.6. Perencanaan Perkuatan dengan *Ground Anchor*

Ground anchor memiliki bagian penting yang mengirimkan gaya tarik (*tensile force*) dari struktur utama ke tanah di sekitarnya. Kekuatan geser dari tanah digunakan untuk melawan gaya tarik tersebut serta untuk mengikat struktur *ground anchor* pada tanah. Struktur *ground anchor* biasanya terdiri dari baja tendon dengan kekuatan tinggi yang dipasang pada sudut kemiringan (inklinasi) tertentu dan pada kedalaman yang diperlukan untuk melawan beban yang ada.

2.6.1. Komponen Ground Anchor



Gambar 2.4 Komponen *Ground Anchor*

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

Komponen ground anchor pada Gambar 2.4 meliputi *unbonded length anchor* dan *bond length anchor*. *Bond length anchor* berfungsi sebagai pembungkus material tanah untuk memindahkan beban serta gaya tarik (*tensile force*) dari struktur ke tanah di sekitar jangkar. Sedangkan *unbonded length anchor* adalah bagian dari tendon yang tidak terikat dan bebas bergerak di dalam tanah serta terletak pada bagian atas *bond length anchor* dimana tidak ada gaya tarik yang dipindahkan ke tanah. Selain itu komponen *ground anchor* juga terdiri dari tendon, yaitu bagian yang terbuat dari baja berkekuatan tinggi (*bar, wire* atau *strand*) yang dikelilingi *cement grout* (material semen untuk *grouting*).

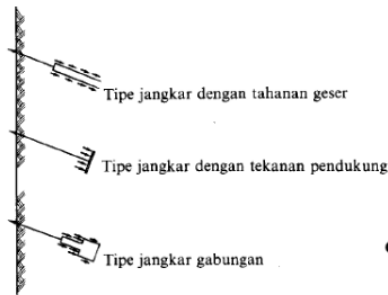
Terdapat 9 faktor yang berperan penting dalam pemasangan *ground anchor* (Littlejohn dan Bruce, 1977; FHWA, 1982; BSI, 1989; Xanthakos, 1991; PTI, 1996; Wyllie, 1999; dalam Rock Slope Engineering), yaitu:

1. Pengeboran (*drilling*), menentukan besarnya diameter lubang bor dan panjang yang akan dibor di lapangan berdasarkan pada peralatan yang tersedia.
2. Material dan dimens, memilih material dan dimensi *anchor* yang cocok dengan diameter lubang dan gaya *anchor* yang disyaratkan.

3. Korosi, memperkirakan tingkat korosi di lapangan dan mengaplikasikan perlindungan korosi yang sesuai dengan tingkat korosi pada anchor.
4. Tipe Pengikatan (*bond type*), memilih antara semen, grout, atau *mechanical anchor* untuk mengamankan bagian ujung *anchor* pada lubang.
5. Panjang ikatan (*bond length*), penentuannya berdasarkan tipe pengikatan, diameter lubang, tegangan *anchor*, dan kekuatan geser tanah.
6. Panjang total *anchor*, menghitung panjang total anchor, yang terdiri dari jumlah panjang ikatan dan panjang yang tidak terpengaruh tekanan. Panjang yang tidak terpengaruh tekanan harus lebih luar dari permukaan tanah sampai bagian atas zona pengikatan (*bond zone*), dengan bagian atas dari zona pengikatan akan berada di bawah bidang longsor potensial.
7. Pola Anchor (*anchor pattern*), layout dari pola anchor, maka jarak pada permukaannya akan hampir sama dan akan menghasilkan gaya *anchor* yang telah disyaratkan.
8. Lubang bor yang tahan air (*waterproofing drill holes*), memastikan tidak ada diskontinuitas pada zona pengikatan yang dapat menyebabkan kebocoran *grouting*.
9. Pengetesan (*testing*), menyiapkan prosedur untuk pengetesan yang akan memeriksa jika panjang pengikatan dapat menahan dari beban yang didesain.

2.6.2. Tipe – Tipe Ground Anchor

Gambar 2.5 menunjukkan ilustrasi tipe-tipe *ground anchor*



Gambar 2.5 Tipe – Tipe *Ground Anchor*

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

1. Penjangkaran dengan tahanan geser. Jenis ini memakai batang jangkar yang silindris yang digROUT di dalam lubang bor dan gaya tarik ditimbulkan dari tahanan geser yang bekerja sekelilingnya.
2. Penjangkaran dengan plat pemikul. Jenis ini menggunakan suatu plat massif yang dipasang di dalam tanah sehingga tekanan tanah pasifnya yang bekerja dapat menahan gaya tarik.
3. Penjangkaran gabungan. Dimana ada bagian- bagian yang diperbesar dan tekanan pasif bersama-sama tahanan geser batangnya yang menahan gaya tarik, sehingga dapat disebut sebagai gabungan dari kedua metode terdahulu. Untuk membuat penjangkaran dengan diameter besar pembuatan lubangnya perlu menggunakan mata bor khusus atau semburan air bertekanan tinggi.

Saat ini, yang paling sering dipergunakan adalah jenis 1. Sedangkan jenis 2 dan 3 dipergunakan apabila suatu lapisan tanah mempunyai tahanan geser yang tidak dapat diandalkan pada suatu kedalaman tertentu, atau lapisan yang lebih padat seperti *mudstone* terdapat pada kedalaman yang dangkal serta tahanan dapat diperoleh malahan dari pemboran yang dangkal saja.

2.6.3. Metode *Ground Anchor*

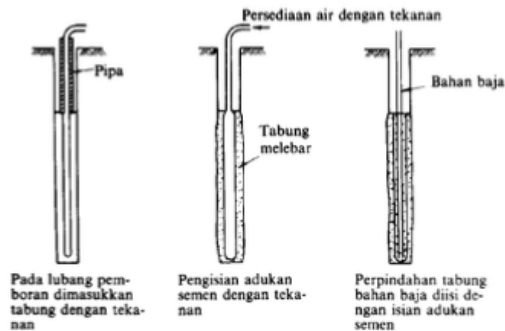
Beberapa metode penjangkaran yang dipakai saat ini diantaranya:

1. Metode penjangkaran dengan *grouting*

Setelah suatu batang baja atau kabel terpasang, dilaksanakan grouting dan batang jangkar ini dijangkar. Dipasang alat “packer” untuk menahan keluarnya aliran semen dari lubang.

2. Metode penjangkaran dengan tabung bertekanan

Metode dimana suatu tabung yang dapat mengembang dimasukkan ke dalam lubang hasil pemboran dan adukan mengisi bagian luar dari dinding tabung dan kemudian air bertekanan dimasukkan ke dalam tabung tersebut agar mengembang (Gambar 2.6).



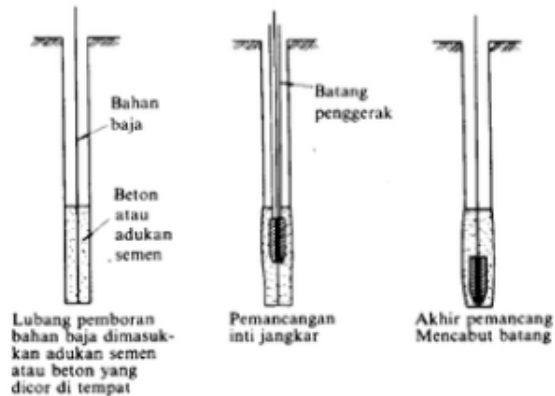
Gambar 2.6 Metode Jangkar dengan Tabung Tekanan

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

3. Metode penjangkaran dengan penekanan

Batang PC baja dimasukkan ke lubangnya dan adukan diisikan ke dalam dasar lubang, lalu beton bertulang yang berlubang tengahnya sebagai inti dari jangkar ini dengan batang baja tadi sebagai pengarahnya dipikul masuk

kedalam adukannya untuk memperbesar dinding lubangnya (Gambar 2.7).

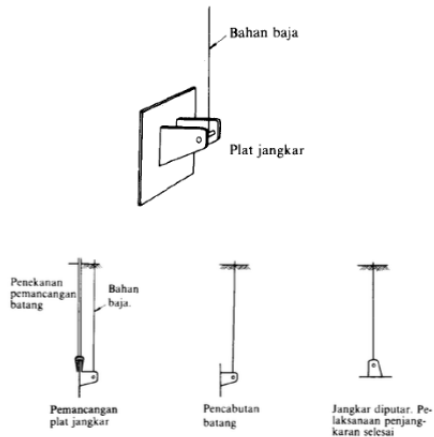


Gambar 2.7 Metode Jangkar dengan Inti yang Dipancang

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

4. Metode penjangkaran plat

Atau disebut metode penjangkaran mekanis terdiri dari batang baja dan bagian jangkar yang terbuat dari plat baja dan dimasukkan kedalam tanha dengan dipukul lalu ditarik sehingga plat memutar (Gambar 2.8).

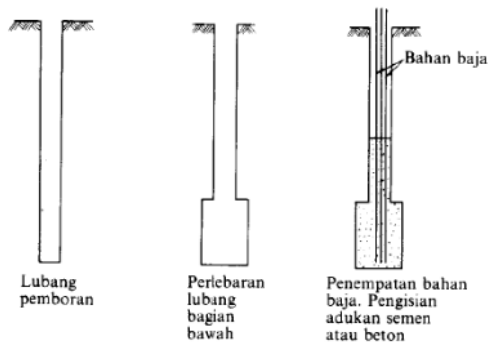


Gambar 2.8 Metode Pelat Jangkar

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

5. Metode jangkar dengan membesarkan bagian bawah

Setelah dibor dalam kedalaman yang diperlukan, mata bor khusus digunakan untuk memperbesar bagian dasar lubang yang menambah tahanan cabut jangka tersebut seperti pada (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 Metode Jangkar dengan Membesarkan Bagian Bawah

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

2.6.4. Perencanaan *Ground Anchor*

1. Pengaturan letak *ground anchor*

Posisi, arah dan jarak antar *ground anchor* seharusnya ditentukan pertama pada saat perancangan.

- Ground anchor* harus dipasang dengan jarak minimal 2 m antar anchor.
- Sudut pemasangan anchor 10° sampai -10° dari arah horizontal.
- Arah *anchor parallel* dengan arah keruntuhan tanah.
- Jarak *anchor* ditentukan berdasarkan pengaruh antar *anchor*, yang ditinjau dari kekuatan *anchor*, diameter *anchor*, kedalaman, dan kekuatan geser tanah.

2. Mencari gaya tahan dan dorong

- Mencari ΔMR yang akan dipikul oleh perkuatan *ground anchor*

Dalam mencari ΔMR digunakan proram bantu *geoslope* yang memiliki *output* berupa momen resisten dan *safety factor*

$$M_{dorong} = \frac{M_{resisten}}{SF} \quad (2-10)$$

Dengan menggunakan rumus di atas, didapatkan nilai momen dorong yang selanjutnya dikalikan dengan SF rencana.

$$M_{resisten\ rencana} = M_{dorong} \times SF_{rencana} \quad (2-11)$$

Maka, didapatkanlah ΔMR yang nantinya nilai ΔMR tersebut akan dipakai sebagai nilai momen yang akan dipikul oleh perkuatan *ground anchor*.

$$\Delta MR = M_{resisten\ rencana} - M_{resisten\ yang\ terjadi} \quad (2-12)$$

- Mencari nilai T_{max} dari perkuatan *ground anchor*

$$T_{max} = N \tan \phi \quad (2-13)$$

Yang dimana nilai T_{max} adalah nilai maksimum yang dipikul oleh *anchor* itu sendiri, selanjutnya nilai T_{max} tersebut dikalikan dengan jari jari bidang longsor. Kemudian didapatkan nilai momen dari *anchor* yang nantinya dibandingkan dengan nilai ΔMR .

$$\Delta MR = N \tan \phi \times R \quad (2-14)$$

$$N_{anchor} = \frac{\Delta MR}{R \tan \phi} \quad (2-15)$$

3. Perhitungan panjang *grouting*

Panjang *grouting* adalah panjang *ground anchor* yang menahan gaya *stressing* yang melewati garis bidang longsor. Perhitungan panjang *grouting* adalah sebagai berikut:

$$N \times SF = C \times \pi \times D \times L$$

Maka,

$$L = \frac{N \times SF}{C \times \pi \times D} \quad (2-16)$$

Dimana,

N = kekuatan tarik jangkar C = Kekuatan geser

D = diameter *grouting*

L = panjang *grouting*

SF = 1,5 (konstruksi sementara) dan 2,5 (konstruksi permanen)

4. Perhitungan balok beton penahan

Perhitungan balok beton penahan ground anchor menggunakan pondasi telapak bujur sangkar dengan rumus sebagai berikut:

$$q_{ult} = 1.2 C'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma'BN'_\gamma \text{ (Terzaghi) (2-17)}$$

Dimana,

C' = kohesi tanah = C_u (kN/m²)

q = $\gamma' \times$ kedalaman pondasi (m)

γ' = berat volume efektif (kN/m³)

B = lebar pondasi (m)

q_{ult} = daya dukung ultimate (kN/m²)

q_{ijin} = q_{ult}/SF (kN/m²)

SF = 2.5

N'_c, N'_q, N'_γ = Faktor daya dukung

Tabel 2.6 Harga N'_c, N'_q, N'_γ (Caquot dan Kerisel)

ϕ°	N_c	N_γ	N_q
0	5,14	0	1,00
5	6,50	0,10	1,60
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	46,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	64,20
45	134,00	254,00	135,00

(Sumber: Herman Wahyudi, 1999)

2.7. Perencanaan Perkuatan dengan *Rock Bolts*

Keuntungan menggunakan *Rock Bolts*, antara lain:

- Memberikan dukungan pada permukaan luar batuan.
- Tidak memerlukan penggalian lereng.

- Dapat diselesaikan sebagai tindakan perbaikan mandiri atau dapat dikombinasikan dengan pilihan lain.
- Memerlukan perawatan minimal

Keterbatasan menggunakan *Rock Bolts*, antara lain:

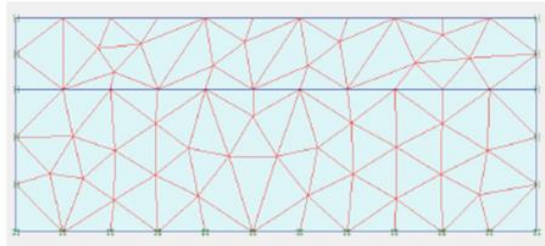
- Mengharuskan pekerja lereng terampil untuk tujuan keselamatan.
- Tidak berlaku untuk digunakan pada lereng talus (yaitu lereng terutama terdiri dari puing-puing).
- Sejumlah baut yang dipasang dalam pola dekat mungkin diperlukan jika digunakan sebagai ukuran rematik yang berdiri sendiri.

2.8. Program Bantu

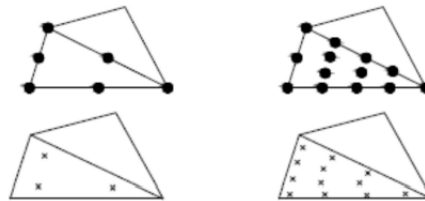
2.8.1. Plaxis

Perangkat lunak Plaxis merupakan sebuah program dalam bidang geoteknik yang menggunakan metode elemen hingga. Di dalam perangkat lunak Plaxis pemodelan struktur geoteknik pada umumnya dapat dimodelkan menjadi regangan bidang (*plane strain*) atau model axisimetri.

Dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak Plaxis, model dibagi menjadi elemen-elemen segitiga. Elemen segitiga tersebut ada 2 (dua) macam, yaitu 15 nodal elemen dan 6 nodal elemen. Perhitungan dengan nodal elemen yang lebih banyak akan memakan waktu analisa yang cukup lama. Gambaran mengenai pembagian elemen-elemen segitiga pada model dan juga posisi titik noda serta tegangan pada elemen segitiga dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pembagian Elemen-Elemen Segitiga Pada Model



Gambar 2.11 Posisi Titik Nodal dan Tegangan Pada Elemen Segitiga

Pada perangkat lunak Plaxis nilai factor aman dicari dengan mereduksi parameter tanah asli seperti c dan ϕ hingga garis keruntuhan akan bersinggungan dengan beban yang ada sehingga kelongsoran terjadi.

$$SF = \frac{c}{c \text{ reduction}} = \frac{\phi}{\phi \text{ reduction}} \quad (2-18)$$

2.9. Metode Pelaksanaan Terowongan (*Tunneling*)

Metode Pelaksanaan (*Construction Method*) adalah cara pelaksanaan pekerjaan konstruksi berdasarkan urutan kegiatan yang logic, realistic dan dapat dilaksanakan dengan menggunakan sumber daya secara efisien. (*Pedoman Pengawasan Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi; Peraturan Menteri PU Nomor: 06/PRT/M/2008 Tanggal: 27 Juni 2008*)

Metode Kerja (*Work Method*) adalah cara pelaksanaan kegiatan pekerjaan dengan susunan bahan, peralatan dan tenaga manusia yang menghasilkan produk pekerjaan dalam bentuk satuan volume dan biaya. (*Pedoman Pengawasan*

Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi; Peraturan Menteri PU Nomor: 06/PRT/M/2008 Tanggal: 27 Juni 2008)

Analisis Pendekatan Teknis (*Technical Analysis*) adalah perhitungan pendekatan teknis atas kebutuhan sumber daya material, tenaga kerja, dan peralatan untuk melaksanakan dan menyelesaikan pekerjaan konstruksi. (*Pedoman Pengawasan Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi; Peraturan Menteri PU Nomor: 06/PRT/M/2008 Tanggal: 27 Juni 2008*)

Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) adalah system pengendalian pelaksanaan kegiatan terhadap 8 (delapan) unsur yaitu: pengorganisasian, personil, kebijakan, perencanaan, prosedur, pencatatan, pelaporan, supervisi, dan *review* intern. (*Pedoman Pengawasan Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi; Peraturan Menteri PU Nomor: 06/PRT/M/2008 Tanggal: 27 Juni 2008*)

Terowongan adalah struktur bawah tanah yang mempunyai panjang lebih dari lebar penampang galiannya, dan mempunyai gradien memanjang kurang dari 15%. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar.

2.9.1. Dasar Teori

Data-data yang terkait dalam pembuatan proyek antara lain yang berupa peta lokasi, data perencanaan yang dilanjutkan dengan *survey* lokasi proyek. Dalam metode dan waktu pelaksanaan proyek harus mempertimbangkan beberapa faktor, antara lain:

a. Perencanaan yang matang

Salah satu yang membuat keberhasilan pelaksanaan suatu proyek adalah meninjau faktor geologi dan meninjau faktor sosial masyarakat yang ada terlebih dahulu. Meninjau faktor geologi bermanfaat untuk memudahkan pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan tanah. Karena dengan mengetahui jenis tanah yang ada memudahkan memilih jenis

alat serta bagian-bagian proyek yang perlu digali/dibuang serta bagian proyek yang perlu untuk ditimbun.

Meninjau faktor sosial sangat penting dilakukan. Dengan mengetahui kondisi sosial masyarakat setempat sehingga dapat memudahkan menjalin kerjasama dan meminta dukungan dalam berlangsungnya proyek pembangunan terowongan ini.

b. Pelaksanaan yang tepat

Untuk menunjang keberhasilan pembangunan proyek diperlukan pelaksanaan yang sesuai dengan waktu yang telah direncanakan dan menggunakan metode pelaksanaan yang telah ditentukan.

c. Pengawasan yang ketat saat berjalannya sebuah proyek

Sebuah proyek pembangunan terowongan memerlukan ketepatan pekerjaan agar tidak terjadi masalah pada bangunan di kemudian hari. Sehingga diperlukan pengawasan yang sangat ketat saat berjalannya sebuah proyek agar bangunan berdiri sesuai dengan yang direncanakan dan selesai tepat waktu.

2.9.2. Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Prosedur keselamatan kerja yang mencakup semua aspek pelaksanaan yang dapat menyebabkan kecelakaan atau jatuh korban akan disosialisasikan kepada semua personel yang terlibat dalam pekerjaan ini dan semua pihak yang menjadi tamu di dalam pekerjaan ini. Hal ini telah diatur dan dipersyaratkan dalam:

- Undang – Undang Kerja tahun 1948 – 1951, yang mengatur keselamatan kerja beserta pencegahannya.
- Undang – Undang No. 14/1969, yang mengatur perlindungan keselamatan tenaga kerja.
- Undang – Undang No. 1 tahun 1970, yang mengatur tentang keselamatan kerja.

- Keputusan Bersama Menteri Pekerjaan Umum No. Kep. 174/Men/1986/104/KPTS/1986, mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada tempat dilakukan kegiatan konstruksi.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 195/KPTS/1989, mengenai Pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum.
- Instruksi Menteri Pekerjaan Umum No. 1/IN/M/1990, mengenai Pelaksanaan Kampanye Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di lingkungan DPU.

Rencana Keselamatan Proyek (*Safety Plan Project*) ini, untuk mendukung rencana pelaksanaan pekerjaan di proyek sehingga terciptanya kondisi tempat kerja yang aman, nyaman dan sehat serta efisien dan produktif dalam mendukung jalannya pelaksanaan proyek sesuai dengan target dan mutu pekerjaan.

Dalam rangka melindungi hak setiap pekerja atas Keselamatan dan Kesehatan serta melindungi Asset Perusahaan sehingga tercipta tempat kerja untuk proses produksi yang aman, efisien dan produktif, maka Penyedia Jasa Pemborongan/Kontraktor melalui komitmen pada Kebijakan Mutu, Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang telah ditetapkan oleh Manajemen, memiliki arti dan tujuan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja sebagai berikut:

1. Mencegah kecederaan dalam pekerjaan.
2. Mencegah penyakit akibat kerja.
3. Menyediakan lingkungan pekerjaan yang sehat dan aman serta meningkatkan praktek-praktek kerja yang aman.
4. Menyediakan fasilitas dan peralatan yang dibentuk dan dipelihara secara aman dan baik.
5. Mematuhi semua persyaratan dan perundangan-undangan pemerintah Indonesia dan industri yang diacu.

6. Bekerjasama dengan pemerintah, masyarakat, perusahaan industri, dan pihak yang terlibat lainnya untuk meningkatkan praktek-praktek kerja yang baik.
7. Mengendalikan penggunaan bahan berbahaya dan beracun (B3).
8. Mempromosikan dan mengembangkan kepedulian keselamatan kerja pada suatu tingkatan tinggi.
9. Menyediakan pelatihan yang diperlukan untuk memungkinkan para karyawan bekerja secara aman dan baik.
10. Mengembangkan dan memelihara suatu system sebagai pengendalian dan pengevaluasian masalah keselamatan dan kesehatan kerja.
11. Menyediakan suatu sistem guna mendapatkan program tanggap darurat yang efisien bilamana terjadi keadaan darurat, khususnya terhadap Bahaya Kebakaran dan Bencana Banjir.

Beberapa standar APD (Alat Pelindung Diri) yang dapat digunakan, yaitu:

- Pelindung Kepala: *Safety Helmet*/Topi Pengaman
- Pelindung Kaki: *Safety Shoes*/Sepatu Kerja Aman
- Pelindung Tangan: *Gloves*/Sarung Tangan
- Pelindung Mata: *Safety Glass*/Kacamata Biasa dan *Goggles*/Kacamata Khusus
- Pelindung Pernapasan dari Debu, Asap, Gas Kimia, dan Udara Menyengat
- Pelindung Alat Pendengaran/Telinga: *Ear Plug*/Sumbat Telinga dan *Ear Muff*/Tutup Telinga
- Pelindung di Tempat Ketinggian: *Safety Belt*/Sabuk Pengaman dan Tali Pengaman
- Pelindung di Tempat Kedalaman Air: *Life Jacket*/Baju Pelampung

2.9.3. Macam-macam Metode Pelaksanaan Terowongan menurut Material Tanahnya

Terowongan umumnya dibuat melalui berbagai jenis lapisan tanah dan bebatuan sehingga metode konstruksi pembuatan terowongan tergantung dari keadaan tanah. Metode konstruksi yang lazim digunakan dalam pembuatan terowongan antara lain: *Cut and Cover System*, *Pipe Jacking System (Micro Tunneling)*, *Tunneling Bor Machine (TBM)*, *New Austrian Tunneling Method (NATM)*, dan *Immersed-Tube Tunneling System*.

Menurut Paulus P. Raharjo (2004) bahwa terowongan transportasi bawah kota merupakan grup tersendiri diantara terowongan lalu –lintas, dapat berupa terowongan kereta api maupun terowongan jalan raya. Dalam tahap konstruksinya, terowongan memerlukan pengawasan yang lebih, karena adanya sedikit kesalahan metode atau *sequence of work* dapat mengakibatkan keruntuhan *tunnel*.

Pelaksanaan galian terowongan dapat dikerjakan dengan bantuan alat-alat berat (*excavator* dengan perlengkapan-perengkapan *clampsell*, *backhoe*, *shovel*, dan juga *crawler loader*), sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dalam waktu relatif cepat dan memperkecil kemungkinan runtuh.

Berdasarkan material yang dipakai, Paulus P Raharjo (2004) menjelaskan terdapat 3 jenis terowongan, yaitu:

1. Terowongan Batuan (*Rock Tunnels*)

Terowongan batuan dibuat langsung pada batuan massif dengan cara pemboran atau peledakan. Terowongan batuan umumnya lebih mudah dikonstruksikan daripada terowongan melalui tanah lunak karena pada umumnya batuan dapat berdiri sendiri kecuali pada batuan yang mengalami *fracture*.

2. Terowongan melalui tanah lunak (*Soft Ground Tunnels*)

Terowongan melalui tanah lunak dibuat melalui tanah lempung atau pasir atau batuan lunak (*soft rock*). Karena jenis

material ini runtuh bila digali, maka dibutuhkan suatu dinding atau atap yang kuat sebagai penahan bersamaan dengan proses penggalian. Umumnya digunakan shield (pelindung) untuk memproteksi galian tersebut agar tidak runtuh. Teknik yang umum digunakan pada saat ini adalah *shield tunneling*. Pada terowongan melalui tanah lunak ini, *lining* langsung dipasang di belakang *shield* bersamaan dengan pergerakan maju dari mesin pembor terowongan (*Tunnel Boring Machine*).

3. Terowongan gali – timbun (*Cut and Cover Tunnel*)

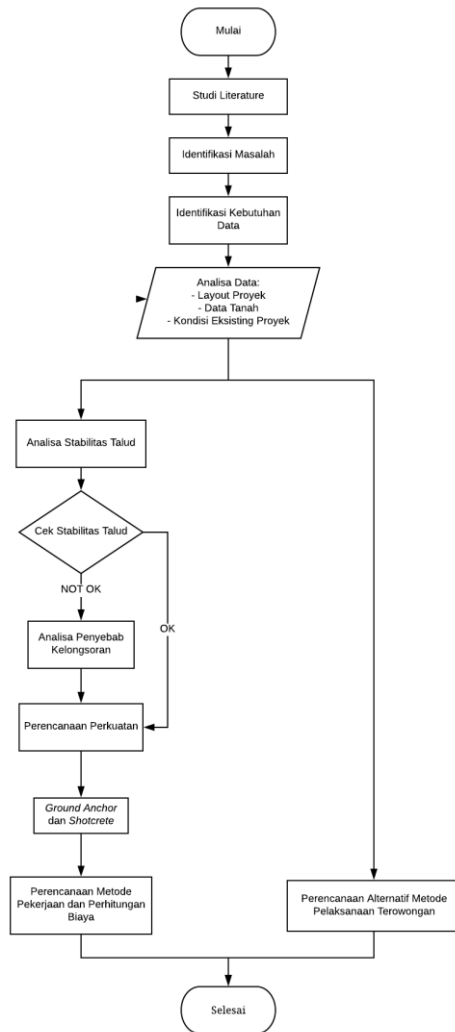
Terowongan ini dibuat dengan cara menggali sebuah *trench* pada tanah, kemudian dinding dan atap terowongan dikonstruksikan di dalam galian. Sesudah itu galian ditimbun kembali dan seluruh struktur berada di bawah timbunan tanah. (Sumber: Rai Made Astawa Rai: Teknik Terowongan: 1988)

Halaman ini sengaja dikosongkan ...

BAB III METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Gambar 3.1 merupakan bagan alir dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir Perkuatan Lereng pada Mulut Terowongan dan Alternatif Metode Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan pada



Gambar 3.1 Bagan Alir

a. Studi Literatur

Studi Literatur yang dimaksud berupa pengumpulan materi-materi yang akan digunakan sebagai bahan acuan dalam melakukan perencanaan. Adapun bahan studi yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- Referensi mengenai perhitungan stabilitas talud.
- Teori tentang klasifikasi batuan, *ground anchor*, dan *rockbolt*.

b. Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data awal berupa layout proyek dan data tanah berupa borlog.

c. Analisa Data

Melakukan analisa data berupa data tanah dasar. Data tanah dasar dianalisa sehingga mendapatkan korelasi nilai data tanah untuk parameter tanah, yaitu: C_u , ϕ , γ , *poisson's ratio*, dan *modulus young*.

d. Perencanaan Perkuatan Talud

- Perencanaan *Ground Anchor*

Menentukan kedalaman jepit dinding, menentukan diameter *secant pile* menggunakan persamaan serta melakukan permodelan untuk mendapatkan hasil analisa struktur menggunakan program bantu. Setelah didapatkan hasil analisa melalui program bantu, dilakukan perencanaan penulangan *secant pile*. Setelah itu dilakukan kontrol *uplift pressure*

e. Metode Pekerjaan dan Estimasi Biaya dari Segi Material

Merencanakan Metode Pekerjaan Pemasangan dan menghitung estimasi biaya dari kedua perencanaan perkuatan talud pada mulut terowongan.

f. Perencanaan Alternatif Metode Pelaksanaan Terowongan

Merencanakan alternatif metode pelaksanaan konstruksi terowongan.

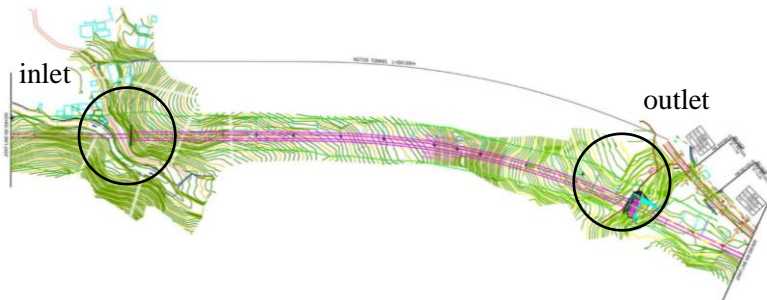
g. Penulisan Tugas Akhir

Hasil analisa, perhitungan, kesimpulan dan saran mengenai alternatif dinding penahan tanah ditulis dalam bentuk laporan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. *Lay Out Terowongan Notog BH 1440*

Terowongan Notog BH 1440 merupakan terowongan yang terletak pada jalur kereta api Prupuk – Kroya. Terowongan ini terletak pada kawasan Desa Notog Kecamatan Patikraja Kabupaten Banyumas, Purwokerto. Saat ini Terowongan Notog BH 1440 sedang dalam masa pembangunan dan diperkirakan akan selesai pada akhir tahun 2018. Dalam proses pembangunannya, perencanaan Terowongan Notog BH 1440 ini bertepatan melewati Bukit Gamping pada Desa Notog.



Gambar 4.1 Terowongan Notog BH 1440

(Sumber: PT. PP (Persero))

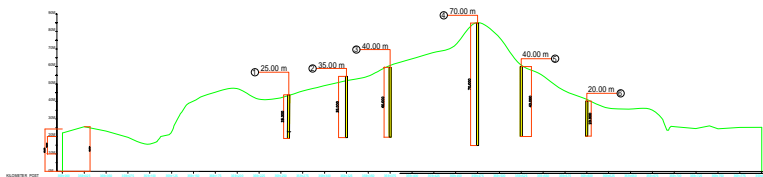
Dapat dilihat pada Gambar 4.1 di atas diilustrasikan *lay out* Terowongan Notog BH 1440. Pada terowongan tersebut terdapat 2 (dua) mulut terowongan, yaitu bagian *inlet* dan *outlet*. Pada tugas akhir akan dibahas mengenai perkuatan talud pada mulut terowongan di bagian *outlet* terowongan. Selain itu juga akan dibahas mengenai rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perkuatan serta metode pelaksanaan pekerjaan terowongan yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.2. Analisa Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data hasil penyelidikan pada proyek Terowongan Notog BH 1440 kota Purwokerto yang dilakukan oleh PT. PP (Persero). Data tersebut berupa data hasil tes bor (Lampiran 2), data pengujian di laboratorium (Lampiran 3), dan data topografi tanah (Lampiran 1).

4.2.1. Lokasi Data Tanah

Penyelidikan geoteknik telah dilakukan oleh PT. PP (Persero) dengan melakukan pengeboran pada beberapa titik. Lokasi pengeboran berada pada titik B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, dan B-6 (Gambar 4.2).

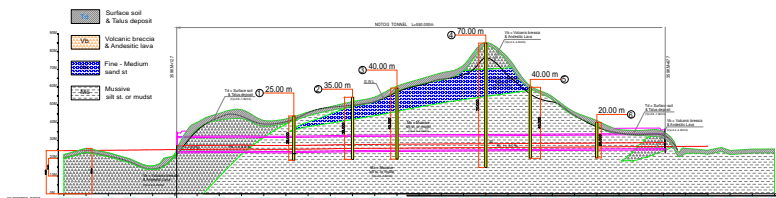


Gambar 4.2 Lokasi Pengujian Tes Bor

(Sumber: PT. PP (Persero))

4.2.2. Penyelidikan Lapisan Tanah

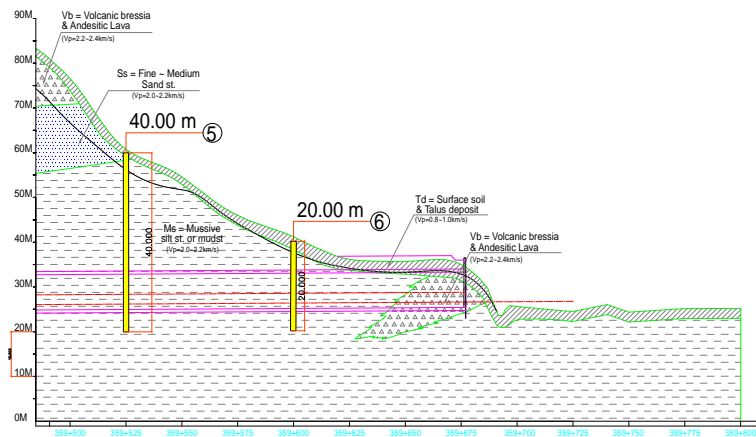
Hasil penyelidikan lapisan tanah berdasarkan uji bor yang kemudian dibuat potongan memanjang profil tanah. Hasil potongan profil tanah dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Profil Tanah Terowongan Notog BH 1440

(Sumber: PT. PP (Persero))

Pada tugas akhir ini perkuatan yang akan direncanakan adalah pada bagian *outlet* di mulut terowongan. Oleh karena itu, data tanah yang digunakan dalam perencanaan yaitu data tanah B-5 dan B-6 karena merupakan titik bor yang paling dekat dengan lokasi perencanaan (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Profil Tanah Memanjang B-5 dan B-

(Sumber: PT. PP (Persero))

Berdasarkan hasil pengambilan data tes bor pada titik B-5 dan B-6 didapatkan jenis-jenis tanah pada beberapa titik pengeboran. Untuk nilai N-SPT pada titik pengeboran B-5 dan B-6 dapat dilihat pada Lampiran 2. Rekap nilai N-SPT pada titik B-5 dan B-6 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Rekap Nilai N-SPT Titik Bor B-5

B-5		
Depth (m)	Description	N-SPT
0	Surface Soil (Sandy clay, dark brown, stiff, medium plastic, moist)	0
0.5		12
1		24
1.5		36
2		39.5
2.5	Claystone (Light grey to brownish grey, calcareous, high to competly weathered)	43
3		46.5
3.5		50
3.5 - 45	Clay Stone (Light grey to grrenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone) Sand Stone (Dark grey, medium to coarse grained, bad sorted, weak calcareous)	50

Tabel 4.2 Rekap Nilai N-SPT Titik Bor B-6

B-6		
Depth (m)	Description	N-SPT
0	Surface Soil (Silty clay, dark brown, stiff, moist, medium plastic)	0
0.5		5.33
1		10.67
1.5		16
2		24.5
2.5	Weathered Claystone (yellowish brown, moist, high plastic, very stiff, high to competely weathered)	33
3		41.5
3.5		50

B-6		
Depth (m)	Description	N-SPT
4		50
4 - 30	Clay Stone (Light grey to greenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone) Sand Stone (Dark grey, medium to coarse grained, bad sorted, weak calcareous)	50

Pada mulut terowongan tidak didapatkan data uji bor maupun data laboratorium maka dilakukan perbandingan nilai N-SPT antara titik bor B-5 dan B-6 agar dapat terlihat karakteristik tanah di sekitar mulut terowongan. Setelah itu dilakukan penyamaan nilai N-SPT pada mulut terowongan dengan tanah disekitarnya (Tabel 4. 3)

Tabel 4. 3 Nilai N-SPT pada Mulut Terowongan

Depth (m)	B-5	B-6	Mulut Terowongan
	N-SPT	N-SPT	N-SPT
0	0	0	16.444
1	24	10.67	
2	39.5	24.50	
3	45.75	41.5	45.75
4	50	50	

Titik mulai pengeboran tanah pada titik B-5 dan B-6 tidak dimulai pada elevasi yang sama. Elevasi titik mulai pengeboran pada titik B-5 lebih tinggi dibandingkan dengan titik B-6. Begitu pula kondisi antara titik pengeboran dengan mulut terowongan terdapat perbedaan elevasi. Beda ketinggian antara titik bor B-5 dan B-6 sebesar 18.5 m. Sedangkan, beda ketinggian antara titik bor B-6 dengan mulut terowongan adalah 7 m. Oleh karena itu, t.

Setelah itu, dilakukan penyamaan N-SPT pada bagian *outlet* mulut Terowongan Notog BH 1440.

Tabel 4.4 Rekap Perbandingan N-SPT Titik Bor B-5 dan B-6 sesuai Elevasi Mulainya Pengeboran

Depth	B-5		Depth	B-6		Depth	Mulut Terowongan STA 359+675	
(m)	Description	N-SPT	(m)	Description	N-SPT	(m)	Description	N-SPT
0	Surface Soil (Sandy clay, dark brown, stiff, medium plastic, moist)	0						
1		24						
2		39,5						
3	Claystone (Light grey to brownish grey, calcareous, high to competly weathered)	46.5						
4		50						
5		50						
6		50						
7		50						
8		50						
9		50						
10		50						
11		50						
12		50						
13		50						
14		50						
15		50						
16		50						
17		50						
18		50						
19		50	0	Surface Soil (Silty clay, dark brown, stiff, moist, medium plastic)	0			
20		50	1		10.67			
21		50	2		24.50			

Depth	B-5		Depth	B-6		Depth	Mulut Terowongan STA 359+675	
(m)	Description	N-SPT	(m)	Description	N-SPT	(m)	Description	N-SPT
22		50	3	Weathered Claystone (yellowish brown, moist, high plastic, very stiff, high to completely weathered)	41.5			
23		50	4		50			
24		50	5		50			
25		50	6		50			
26		50	7		50			
27		50	8		50	0	Surface Soil (Silty clay, dark brown, stiff, moist, medium plastic)	16.444
28		50	9	Clay Stone (Light grey to greenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone) Sand Stone (Dark grey, medium to coarse grained, bad sorted, weak calcareous)	50	1		
29		50	10		50	2		
30		50	11		50	3	Clay Stone (Light grey to greenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone) Sand Stone (Dark grey, medium to coarse grained, bad sorted, weak calcareous)	50
31		50	12		50	4		50
32		50	13		50	5		50
33		50	14		50	6		50
34		50	15		50	7		50
35		50	16		50	8		50
36		50	17		50	9		50
37		50	18		50	10		50
38		50	19		50	11		50
39		50	20		50	12		50
40		50	21		50	13		50
41		50	22		50	14		50
42		50	23		50	15		50
43		50	24		50	16		50
44		50	25		50	17		50
45		50	26		50	18		50

4.2.3. Analisis Parameter Tanah

Setelah didapatkan karakteristik tanah pada titik bor B-5, B-6, dan mulut terowongan. Dilakukan analisis parameter tanah

untuk lapisan *surface soil*. Analisis parameter tanah dilakukan dengan menggunakan korelasi terhadap nilai N-SPT. Parameter yang dibutuhkan dalam perencanaan selanjutnya yaitu berat jenis (γ), sudut geser (ϕ), kerapatan relative (D_r), *poisson ratio* (ν), dan *modulus young* (E). Analisis parameter tanah dapat dilakukan dengan menggunakan tabel korelasi J. E. Bowles yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3.

Tabel 4. 5 Parameter Tanah Titik Bor B-5

Depth (m)	N-SPT	N'	N	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_{unsat} (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	cu (kN/m ²)	E (Mpa)	ν
0	0	7.5	8	16.444	14.444	0	0.5	40	50	0.2
1	24	19.5	20	17.778	15.778	0	10	100	80	0.2
2	39.5	27.25	27	20	18.000	0	14	135	90	0.2

Tabel 4. 6 Parameter Tanah Titik Bor B-6

Depth (m)	N-SPT	N'	N	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_{unsat} (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	cu (kN/m ²)	E (Mpa)	ν
0	0	7.5	8	16.444	14.444	0	0.5	40	11.5	0.2
1	10.67	12.833	13	17.556	15.556	0	8	65	14	0.2
2	24.50	19.75	20	17.778	15.778	0	10	100	17.5	0.2
3	41.5	28.25	28	20	18.000	0	15		21.5	1.2
4	50	32.5	33	20	18.000	0	18		24	2.2

Tabel 4. 7 Parameter Tanah pada Mulut Terowongan

Depth (m)	N-SPT	N'	N	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_{unsat} (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	cu (kN/m ²)	E (Mpa)	ν
0 - 2	16.444	15.722	16	16	14	0	0.5		15.5	0.2

Untuk parameter tanah yang berada di bawah *surface soil* telah didapatkan dari data hasil tes laboratorium (Lampiran 4).

Tabel 4.8 Parameter Tanah di Bawah *Surface Soil* Titik Bor B-5 dan B-6

Depth (m)			B - 5			B - 6		
			16.30 - 17.00	31.00 - 31.80	36.70 - 37.40	4.20 - 5.00	11.60 - 12.30	16.00 - 16.80
Propertie s	Natural Water Content	(%)	23.99	20.21	24.41	23.79	30.13	19.85
	Specific Gravity of Soil	G _s	2.632	-	2.611	-	-	-
	Wet Density	γ_{wet} (g/cm ³)	1.928	2.076	1.943	1.996	1.885	2.056
	Dry Density	γ_d (g/cm ³)	1.555	1.727	1.562	1.612	1.449	1.715
	Void Ratio	e	0.692	0.562	0.672	0.673	0.862	0.564
	Saturated Density	γ_{sat} (g/cm ³)	1.964	2.087	1.964	2.014	1.912	2.076
	Submerged Density	γ_{sub} (g/cm ³)	0.964	1.087	0.964	1.014	0.912	1.076
	Degree of Saturation	S _r	91.18	97	94.89	95.31	94.29	94.4
Specific Gravity & Absorption	Bulk Dry Basis		-	2.281	-	2.281	2.281	2.256
	Saturated Surface Dry Condition		-	2.435	-	2.435	2.435	2.415
	Apparent		-	2.697	-	2.697	2.697	2.683
	Absorption		-	6.76	-	7.95	8.99	7.06
Direct Shear	Cohesion	C (kg/cm ²)	-	-	-	-	-	-
	Internal Friction Angle		-	-	-	-	-	-
Triaxial UU	Cohesion	C (kg/cm ²)	2.466	9.097	2.717	3.696	3.17	7.152
	Internal Friction Angle		28°18'	37°47'	28°32'	29°45'	27°54'	35°48'
Uniaxial Compressive Strength	Compressive Strength	q _u (kg/cm ²)	48.5	181.64 ₉	53.093	73.506	62.715	142.16 ₈
	Modulus Elasticity (Axial)	E _a (kg/cm ²)	3.27E+ ₀₃	1.93E+ ₀₃	4.33E+ ₀₃	6.01E+ ₀₃	5.31E+ ₀₃	1.51E+ ₀₃
	Modulus Elasticity (Diametral)	E _d (kg/cm ²)	9.34E+ ₀₃	4.72E+ ₀₃	1.19E+ ₀₃	1.63E+ ₀₃	1.54E+ ₀₃	3.81E+ ₀₃

Depth (m)			B - 5			B - 6		
			16.30 - 17.00	31.00 - 31.80	36.70 - 37.40	4.20 - 5.00	11.60 - 12.30	16.00 - 16.80
	Poisson's Ratio		0.351	0.408	0.363	0.369	0.346	0.397
	Axial Strain	(%)	1.52	0.97	1.27	1.29	1.21	0.97

(Sumber: Justek *Open Cut* dan *Slope Protection* PT. PP (Persero))

Tabel 4. 9 Parameter Tanah di Bawah *Surface Soil* pada Mulut Terowongan

Depth (m)			29 - 30	30 - 35	35 - 36	36 - 45
Properties	Natural Water Content	(%)	23.99	30.13	19.85	24.41
	Specific Gravity of Soil	G _s	2.632	-	-	2.611
	Wet Density	γ _{wet} (g/cm ³)	1.928	1.885	2.056	1.943
	Dry Density	γ _d (g/cm ³)	1.555	1.449	1.715	1.562
	Void Ratio	e	0.692	0.862	0.564	0.672
	Saturated Density	γ _{sat} (g/cm ³)	1.964	1.912	2.076	1.964
	Submerged Density	γ _{sub} (g/cm ³)	0.964	0.912	1.076	0.964
	Degree of Saturation	S _r	91.18	94.29	94.4	94.89
Specific Gravity & Absorption	Bulk Dry Basis		-	2.281	2.256	-
	Saturated Surface Dry Condition		-	2.435	2.415	-
	Apparent		-	2.697	2.683	-
	Absorption		-	8.99	7.06	-
Direct Shear	Cohesion	C (kg/cm ²)	-	-	-	-
	Internal Friction Angle		-	-	-	-
Triaxial UU	Cohesion	C (kg/cm ²)	2.466	3.17	7.152	2.717
	Internal Friction Angle		28°18'	27°54'	35°48'	28°32'
Uniaxial Compressive Strength	Compressive Strength	q _u (kg/cm ²)	48.5	62.715	142.168	53.093
	Modulus Elasticity (Axial)	E _a (kg/cm ²)	3.27E+03	5.31E+03	1.51E+03	4.33E+03

Depth (m)			29 - 30	30 - 35	35 - 36	36 - 45
	Modulus Elasticity (Diametral)	Ed (kg/cm ²)	9.34E+03	1.54E+03	3.81E+03	1.19E+03
	Poisson's Ratio		0.351	0.346	0.397	0.363
	Axial Strain	(%)	1.52	1.21	0.97	1.27

4.3. Analisis Kondisi Eksisting Sebelum diberikan Perkuatan

Setelah dilakukan pembangunan terowongan Notog BH 1440, pada mulut terowongan terdapat *open cut* bukit untuk melakukan pembangunan terowongan Notog BH 1440. Oleh karena itu diperlukan analisa stabilitas untuk mengetahui kondisi stabilitas talud pada mulut terowongan.

4.4. Analisis Stabilitas Talud dengan Program Bantu

4.4.1. Program Bantu Xstable

Dilakukan analisa stabilitas talud dengan menggunakan program bantu plaxis.

4.4.1.1. Potongan Melintang

a. Di Depan Pintu Terowongan Sejauh 7 Meter

Hasil analisa talud pada mulut terowongan Notog BH 1440 sejauh 7 meter di depan pintu terowongan dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.7.

a. Sebelah kiri



Gambar 4.5 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 7 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: XSTABL

Line: 287 File: 7MDEPAN.OPT ESC=QUIT MOVE: ↑ PgDn PgUp END HOME

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : 7m

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.928	16.50	28.56	5.73	17.89	19.78	6.860E+02
2.	.930	14.62	34.35	13.25	21.44	2.25	4.358E+03
3.	.938	12.92	31.58	10.91	19.67	2.19	3.557E+03
4.	.950	14.02	31.20	10.49	20.56	3.71	3.316E+03
5.	.955	15.43	28.53	5.75	17.00	9.71	8.007E+02
6.	.960	12.07	31.23	10.00	17.89	2.14	2.882E+03
7.	.961	12.42	30.95	10.18	18.78	2.34	3.153E+03
8.	.964	12.82	31.24	10.71	19.67	2.25	3.604E+03
9.	.977	13.53	29.90	8.67	18.78	4.91	2.288E+03
10.	.982	15.57	33.00	12.66	23.22	3.47	4.610E+03

*** END OF FILE ***

Gambar 4.6 Hasil Analisa Momen dan *Safety Factor* pada Talud di Bagian Kiri pada 7 meter di depan Pintu Terowongan

b. Sebelah kanan



Gambar 4.7 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 7 Meter Bagian Kanan di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: XSTABL

Line: 216 File: 7MDEPAN.OPT ESC=QUIT MOUE: 47 PgDn PgUp END HOME

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : 7m

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.156	32.67	34.44	11.75	30.00	44.16	6.478E+03
2.	1.157	32.62	35.00	12.28	30.00	44.53	6.873E+03
3.	1.158	32.72	33.17	10.52	30.00	43.17	5.543E+03
4.	1.160	33.31	33.56	11.07	30.00	44.26	6.384E+03
5.	1.161	33.37	33.77	11.29	30.00	44.51	6.619E+03
6.	1.165	33.49	34.06	11.60	30.00	44.90	6.967E+03
7.	1.166	33.54	34.02	11.57	30.00	44.92	6.979E+03
8.	1.168	33.72	33.37	11.02	30.00	44.64	6.654E+03
9.	1.179	33.22	33.91	11.54	29.44	44.60	7.034E+03
10.	1.181	32.58	35.40	12.79	29.44	44.91	7.581E+03

*** END OF FILE ***

Gambar 4.8 Hasil Analisa Momen dan *Safety Factor* pada Talud di Bagian Kanan pada 7 meter di depan Pintu Terowongan

Berdasarkan hasil analisa stabilitas talud pada mulut terowongan Notog BH 1440 sejauh 7 meter di depan pintu terowongan dapat dilihat *safety factor* terkritis sebagai berikut (Gambar 4.6 dan Gambar 4.8):

- Sebelah kiri : 0.928
- Sebelah kanan : 1.156

b. Di Depan Pintu Terowongan Sejauh 9 Meter

Hasil analisa talud pada mulut terowongan Notog BH 1440 sejauh 9 meter di depan pintu terowongan dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.11.

a. Sebelah kiri



Gambar 4.9 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: XSTABL

Line: 297 File: 7MDEPM.OPT ESC=QUIT MOVE: ↑ PgDn PgUp END HOME

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : 7m

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.928	16.50	28.56	5.73	17.89	10.78	6.860E+02
2.	.930	14.62	34.35	13.25	21.44	2.25	4.358E+03
3.	.938	12.92	31.58	10.91	19.67	2.19	3.557E+03
4.	.950	14.02	31.20	10.49	20.56	3.71	3.316E+03
5.	.955	15.43	28.53	5.75	17.00	9.71	8.007E+02
6.	.960	12.07	31.23	10.08	17.89	2.14	2.802E+03
7.	.961	12.42	30.95	10.18	18.78	2.34	3.153E+03
8.	.964	12.82	31.24	10.71	19.67	2.25	3.604E+03
9.	.977	13.53	29.90	8.67	18.78	4.91	2.288E+03
10.	.982	15.57	33.08	12.66	23.22	3.47	4.610E+03

*** END OF FILE ***

Gambar 4.10 Hasil Analisa Momen dan *Safety Factor* pada Talud di Bagian Kiri pada 9 meter di depan Pintu Terowongan

b. Sebelah kanan



Gambar 4.11 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kanan di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: XSTABL

Line: 216 File: 7MDEPAN.OPT ESC=QUIT MOUE: 47 PgDn PgUp END HOME

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : 7m

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.156	32.67	34.44	11.75	30.00	44.16	6.478E+03
2.	1.157	32.62	35.00	12.28	30.00	44.53	6.873E+03
3.	1.158	32.72	33.17	10.52	30.00	43.17	5.543E+03
4.	1.160	33.31	33.56	11.07	30.00	44.26	6.384E+03
5.	1.161	33.37	33.77	11.29	30.00	44.51	6.619E+03
6.	1.165	33.49	34.06	11.60	30.00	44.90	6.967E+03
7.	1.166	33.54	34.02	11.57	30.00	44.92	6.979E+03
8.	1.168	33.72	33.37	11.02	30.00	44.64	6.654E+03
9.	1.179	33.22	33.91	11.54	29.44	44.60	7.034E+03
10.	1.181	32.58	35.40	12.79	29.44	44.91	7.581E+03

*** END OF FILE ***

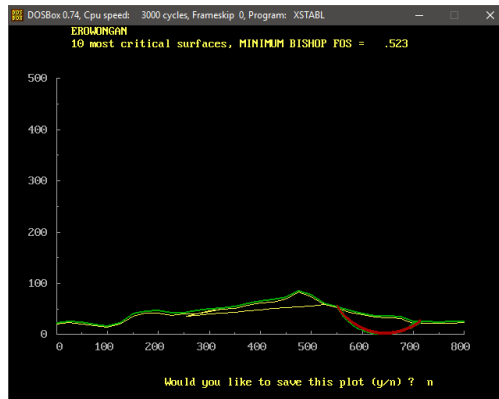
Gambar 4.12 Hasil Analisa Momen dan *Safety Factor* pada Talud di Bagian Kanan pada 9 meter di depan Pintu Terowongan

Berdasarkan hasil analisa stabilitas talud pada mulut terowongan Notog BH 1440 sejauh 9 meter di depan pintu terowongan dapat dilihat *safety factor* terkritis sebagai berikut (Gambar 4.10 dan Gambar 4.12):

- Sebelah kiri : 1.112
- Sebelah kanan : 1.098

4.4.1.2. Potongan Memanjang

Hasil analisa talud pada potongan memanjang Notog BH 1440 dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.13 Bidang Longsor pada Talud Sejauh 9 Meter Bagian Kiri di Depan Pintu Terowongan Notog BH 1440

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: XSTABL

Line: 291 File: NOTDG.OPT ESC=QUIT MOVE: Lt PgDn PgUp END HOME

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : EROWONGAN

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.523	644.42	110.25	109.61	713.33	550.00	5.414E+05
2.	.535	630.67	99.25	98.89	704.44	550.55	4.682E+05
3.	.537	636.90	96.68	96.56	702.22	550.10	4.551E+05
4.	.543	644.20	112.90	110.38	711.11	550.61	5.382E+05
5.	.545	642.76	110.76	108.13	708.89	550.45	5.141E+05
6.	.554	649.35	122.46	119.23	717.78	551.75	5.840E+05
7.	.554	644.89	117.11	113.35	711.11	550.42	5.402E+05
8.	.566	643.86	96.86	96.76	708.89	558.26	4.466E+05
9.	.567	642.51	113.42	100.99	706.67	550.97	5.039E+05
10.	.570	645.85	114.86	110.97	711.11	553.46	5.182E+05

*** END OF FILE ***

Gambar 4.14 Hasil Analisa Momen dan *Safety Factor* pada Talud di Bagian Kiri pada 9 meter di depan Pintu Terowongan

4.5. Perhitungan Perkuatan Talud

Berdasarkan profil terowongan tersebut, resiko keruntuhan cukup besar dikarenakan lapisan batuan di atas terowongan yang cukup tipis hanya sekitar 2 – 3 meter. Selanjutnya, berdasarkan hasil bor log pada daerah *outlet* (Lampiran 2) didapatkan lapisan tanah setebal 70 cm yang termasuk ke dalam *silty clay* dan di bawahnya berupa *weathered claystone*.

4.5.1. *Ground Anchor*

Direncanakan 2 buah *ground anchor* dipasang dengan jarak 2 meter dengan diameter *grouting* sebesar 0.15 m dengan nilai $C_u = 200 \text{ kN/m}^2$ untuk tanah keras. Berikut adalah perhitungan ΔMR , gaya prategang (N_{anchor}) yang diterima tiap *anchor* dan juga panjang lekatan atau panjang *grouting* (L) yang dibutuhkan untuk perkuatan talud.

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan aplikasi *xstabl*, dengan menggunakan $SF_{\text{rencana}} = 1.25$ maka perlu direncanakan perkuatan dengan menggunakan *ground anchor* bagi stabilitas talud yang nilai SF masih belum memenuhi SF .

4.5.1.1. Perkuatan Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kiri

Tabel 4.10 Variasi Hasil Analisa Stabilitas Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kiri

SF	MR (kN-m)	R (m)
0.928	6860	12.36
0.566	1882	13.65
0.675	1425	9.9
0.541	7095	9.58
0.68	1341	9.62



Gambar 4.15 Sketsa Bidang Longsor Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kiri

Contoh Perhitungan Hasil 1



Gambar 4.16 Sketsa Bidang Longsor Talud untuk SF = 0.928 di Depan Terowongan Bagian Kiri

Untuk nilai SF = 0.928, MR = 6860 kN-m, dan R = 12.36 m

Maka didapat nilai M_{dorong} sebesar:

$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{resisten}}}{SF} = \frac{6860}{0.928} = 7392.241 \text{ kNm}$$

Kemudian mencari $M_{\text{resisting}}$ rencana dengan $SF_{\text{rencana}} = 1.25$

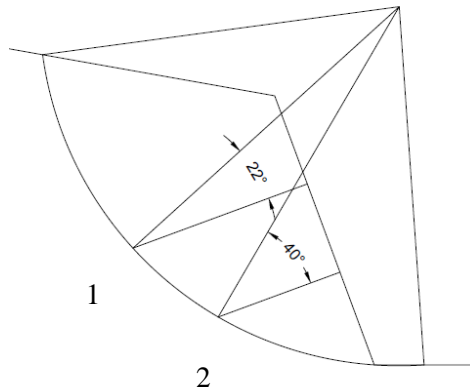
$$M_{\text{resisten rencana}} = M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} = 7392.241 \times 1.25 = 9240.302 \text{ kNm}$$

Maka, didapat nilai ΔMR , yaitu nilai momen yang akan dipikul oleh *ground anchor* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta MR &= M_{\text{resisten rencana}} - M_{\text{dorong}} \\ &= 9240.302 - 7392.241 = 1848.061 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dikarenakan *ground anchor* direncanakan setiap 2 meter, maka nilai momen yang dipikul *ground anchor* harus dikali 2:

$$\begin{aligned} \Delta MR &= 1848.061 \times 2 \\ &= 3696.121 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Sketsa Pemasangan *Ground Anchor*

Perhitungan N dengan menggunakan:

$$N = \frac{\Delta MR}{R \times \tan 40} = \frac{3696.121}{12.36 \times \tan 40} = 356.381 \text{ kN}$$

Setelah mendapatkan nilai N, maka dicari nilai P yaitu gaya prategang yang tegak lurus lereng yang di mana memiliki nilai $\beta_1 = 22^\circ$ dan $\beta_2 = 40^\circ$, maka nilai P:

$$P_{\text{anchor}} = \frac{N_{\text{anchor}}}{\cos \beta}$$

$$P_{\text{anchor } 1} = \frac{356.381}{\cos 22} = 384.369 \text{ kN}$$

$$P_{\text{anchor } 2} = \frac{356.381}{\cos 40} = 365.222 \text{ kN}$$

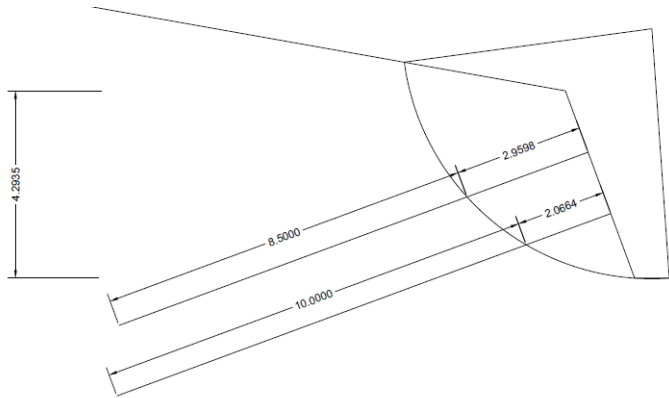
Menentukan panjang *grouting* yaitu dengan menggunakan persamaan dengan nilai $SF = 2$ dikarenakan kekuatan tarik pada bagian *fixed length anchor* diharuskan 2 kali dari P_{anchor} dan nilai $C_u = 200 \text{ kN/m}^2$. Untuk keseluruhan perhitungan P (gaya *anchor*), L (panjang *grouting*) dan D (diameter *anchor*).

$$P \times SF = C \times \pi \times D \times L$$

$$L = \frac{P \times SF}{C \times \pi \times D}$$

$$L_1 = \frac{384.369 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 8.161 \text{ m} \approx 8.5 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{365.222 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 9.877 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$



Gambar 4.18 Sketsa Hasil Perhitungan Pemasangan *Ground Anchor*

Bagian Kanan

Tabel 4.11 Variasi Hasil Analisa Stabilitas Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kanan

SF	MR (kN-m)	R (m)
0.963	3841	9.78
0.974	6501	11.37
1.156	6478	12.36
0.955	6219	11.48
0.913	5782	11.43



Gambar 4.19 Sketsa Bidang Longsor Talud Sejauh 7 meter di Depan Terowongan Bagian Kanan

Contoh Perhitungan Hasil 1



Gambar 4.20 Sketsa Bidang Longsor Talud untuk $SF = 0.974$ di Depan Terowongan Bagian Kanan

Untuk nilai $SF = 0.974$, $MR = 6501$ kN-m, dan $R = 11.37$ m

Maka didapat nilai M_{dorong} sebesar:

$$\begin{aligned} M_{\text{dorong}} &= \frac{M_{\text{resisten}}}{SF} \\ &= \frac{6501}{0.974} = 6674.538 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kemudian mencari $M_{\text{resisting}}$ rencana dengan $SF_{\text{rencana}} = 1.25$

$$\begin{aligned} M_{\text{resisten rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\ &= 6674.538 \times 1.25 = 8343.173 \text{ kNm} \end{aligned}$$

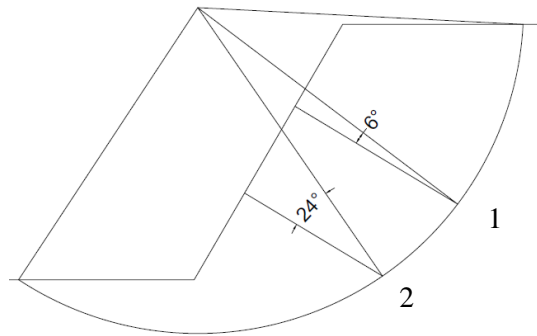
Maka, didapat nilai ΔMR , yaitu nilai momen yang akan dipikul oleh *ground anchor* adalah sebagai berikut:

$$\Delta MR = M_{\text{resisten rencana}} - M_{\text{dorong}}$$

$$= 8343.173 - 6674.538 = 1668.635 \text{ kNm}$$

Dikarenakan *ground anchor* direncanakan setiap 2 meter, maka nilai momen yang dipikul *ground anchor* harus dikali 2:

$$\begin{aligned}\Delta MR &= 1668.635 \times 2 \\ &= 3337.269 \text{ kNm}\end{aligned}$$



Gambar 4.21 Sketsa Pemasangan *Ground Anchor*

Perhitungan N dengan menggunakan:

$$\begin{aligned}N &= \frac{\Delta MR}{R \times \tan 40} \\ &= \frac{3337.269}{11.37 \times \tan 40} = 349.798 \text{ kN}\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai N, maka dicari nilai P yaitu gaya prategang yang tegak lurus lereng yang di mana memiliki nilai $\beta_1 = 6^\circ$ dan $\beta_2 = 24^\circ$, maka nilai P:

$$\begin{aligned}P_{\text{anchor}} &= \frac{N_{\text{anchor 1}}}{\cos 7} \\ P_{\text{anchor 1}} &= \frac{349.798}{\cos 6} = 351.725 \text{ kN} \\ P_{\text{anchor 2}} &= \frac{349.798}{\cos 24} = 382.901 \text{ kN}\end{aligned}$$

Menentukan panjang *grouting* yaitu dengan menggunakan persamaan dengan nilai SF = 2 dikarenakan kekuatan tarik pada

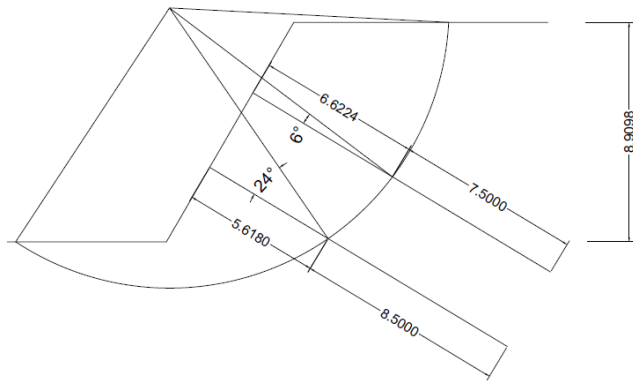
bagian *fixed length anchor* diharuskan 2 kali dari P_{anchor} dan nilai $C_u = 200 \text{ kN/m}^2$. Untuk keseluruhan perhitungan P (gaya *anchor*), L (panjang *grouting*) dan D (diameter *anchor*).

$$P \times SF = C \times \pi \times D \times L$$

$$L = \frac{P \times SF}{C \times \pi \times D}$$

$$L_1 = \frac{351.725 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 7.468 \text{ m} \approx 7.5 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{382.901 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 8.13 \text{ m} \approx 8.5 \text{ m}$$

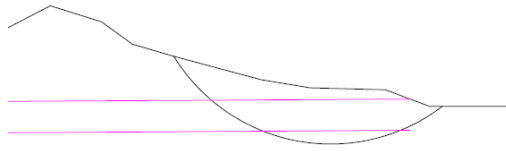


Gambar 4.22 Sketsa Hasil Perhitungan Pemasangan *Ground Anchor*

4.5.1.2. Perkuatan Potongan Memanjang di Depan Terowongan

Tabel 4.12

SF	MR (kN-m)	R (m)
0.523	541400	1.61



Gambar 4.23 Sketsa Bidang Longsor Talud Potongan Memanjang

Contoh Perhitungan Hasil 1

Untuk nilai $SF = 0.974$, $MR = 6501 \text{ kN-m}$, dan $R = 11.37 \text{ m}$

Maka didapat nilai M_{dorong} sebesar:

$$\begin{aligned} M_{\text{dorong}} &= \frac{M_{\text{resisten}}}{SF} \\ &= \frac{6501}{0.974} = 6674.538 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kemudian mencari $M_{\text{resisting}}$ rencana dengan $SF_{\text{rencana}} = 1.25$

$$\begin{aligned} M_{\text{resisten rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\ &= 6674.538 \times 1.25 = 8343.173 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka, didapat nilai ΔMR , yaitu nilai momen yang akan dipikul oleh *ground anchor* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta MR &= M_{\text{resisten rencana}} - M_{\text{dorong}} \\ &= 8343.173 - 6674.538 = 1668.635 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dikarenakan *ground anchor* direncanakan setiap 2 meter, maka nilai momen yang dipikul *ground anchor* harus dikali 2:

$$\begin{aligned} \Delta MR &= 1668.635 \times 2 \\ &= 3337.269 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan N dengan menggunakan:

$$N = \frac{\Delta MR}{R \times \tan 40}$$

$$= \frac{3337.269}{11.37 \times \tan 40} = 349.798 \text{ kN}$$

Setelah mendapatkan nilai N, maka dicari nilai P yaitu gaya prategang yang tegak lurus lereng yang di mana memiliki nilai $\beta_1 = 6^\circ$ dan $\beta_2 = 24^\circ$, maka nilai P:

$$P_{\text{anchor}} = \frac{N_{\text{anchor } 1}}{\cos 7}$$

$$P_{\text{anchor } 1} = \frac{349.798}{\cos 6} = 351.725 \text{ kN}$$

$$P_{\text{anchor } 2} = \frac{349.798}{\cos 24} = 382.901 \text{ kN}$$

Menentukan panjang *grouting* yaitu dengan menggunakan persamaan dengan nilai $SF = 2$ dikarenakan kekuatan tarik pada bagian *fixed length anchor* diharuskan 2 kali dari P_{anchor} dan nilai $C_u = 200 \text{ kN/m}^2$. Untuk keseluruhan perhitungan P (*gaya anchor*), L (panjang *grouting*) dan D (*diameter anchor*).

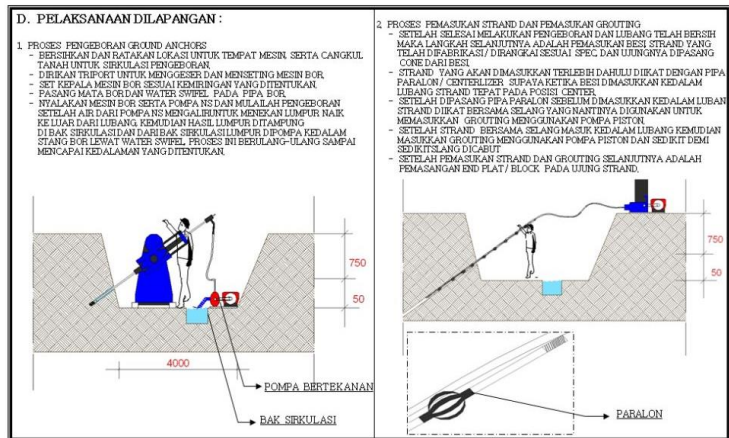
$$P \times SF = C \times \pi \times D \times L$$

$$L = \frac{P \times SF}{C \times \pi \times D}$$

$$L_1 = \frac{351.725 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 7.468 \text{ m} \approx 7.5 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{382.901 \times 2}{200 \times \pi \times 0.15} = 8.13 \text{ m} \approx 8.5 \text{ m}$$

4.6. Metode Pelaksanaan



Proses pengeboran *ground anchors*

1. Bersihkan dan ratakan lokasi untuk tempat mesin.
2. Dirikan triport untuk menggeser dan mensetting mesin bor.
3. Pasang mata bor sesuai kemiringan yang ditentukan.
4. Pasang mata bor dan water swipel pada pipa bor.
5. Nyalakan mesin bor serta pompa dan mulai pengeboran setelah air dari pompa mengalir untuk menekan lumpur naik ke luar dari lubang.

Proses memasukkan *grouting*

1. Setelah selesai melakukan pengeboran dan lubang telah bersih. Selanjutnya memasukkan besi strand yang telah difabrikasi/dirangkai sesuai spec dan ujungnya dipasang cone dari besi.
2. Strand yang akan dimasukkan terlebih dahulu dengan pipa supaya ketika besi dimasukkan ke dalam lubang strand tepat pada posisi center.
3. Setelah dipasang pipa paralon sebelum dimasukkan ke dalam lubang strand diikat bersama selang yang nantinya

digunakan untuk memasukkan grouting menggunakan pompa piston.

4. Setelah strand bersama selang masuk ke dalam lubang kemudian masukkan grouting menggunakan pompa piston dan sedikit demi sedikit selang dicabut.
5. Setelah pemasukkan strand dan drouting selanjutnya adalah pemasangan end plat/block pada ujung strand.

4.7. Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan hasil perencanaan perkuatan dengan menggunakan ground anchor, maka dapat dihitung perkiraan biaya yang akan digunakan sebagai berikut

Tabel 4. 13 Perhitungan Biaya Material Perkuatan dengan *Ground Anchor*

Anchor	Jumlah	Panjang Grouting (m)	1 ancore+stresssing	Jumlah Total	Harga Total
	2	1	Rp 50,000,000	26	Rp 2,600,000,000
Pengeboran	Jumlah	Panjang Grouting (m)	Biaya Pengeboran / Lubang	Jumlah Total	Harga Total
	2	1	Rp 1,500,000	26	Rp 78,000,000
Grouting	Jumlah	Volume Grouting (m ³)	Harga Grouting / m ³	Jumlah Total	Harga Total
	2	1	Rp 1,600,000	26	Rp 83,200,000
TOTAL					Rp 2,761,200,000

Halaman ini sengaja dikosongkan ...

BAB V

METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN TEROWONGAN

5.1. Dasar Teori

Dalam menentukan metode pelaksanaan suatu pekerjaan diperlukan beberapa pertimbangan sehingga dapat dipilihnya satu metode yang sesuai dengan pekerjaan yang ada. Begitu pula dalam menentukan metode pelaksanaan pekerjaan suatu terowongan.

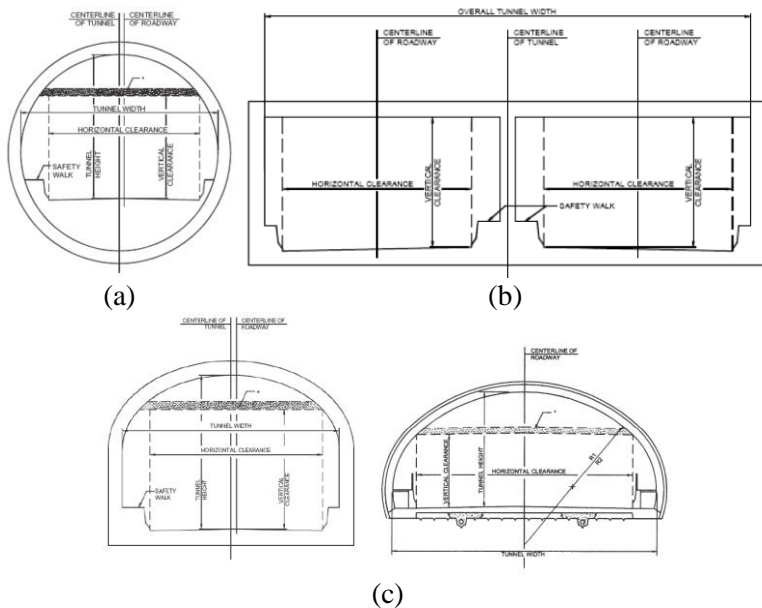
Jalan terowongan seperti yang didefinisikan oleh *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) Technical Committee for Tunnels (T-20)* adalah jalan tertutup dengan akses kendaraan yang terbatas ke portal terlepas dari jenis struktur atau metode konstruksi. Definisi ini berlaku untuk semua jenis struktur terowongan dan metode *tunneling* seperti *cut-and-cover tunnels*, *mined and bored tunnels in rock*, *soft ground*, *and difficult ground*, *immersed tunnels*, dan *jacked box tunnels*.

Jalan terowongan adalah alternatif yang layak untuk menyeberangi badan air atau melintasi melalui hambatan fisik seperti gunung, jalan raya, rel kereta api, atau untuk memenuhi persyaratan lingkungan atau ekologi. Selain itu, jalan terowongan dapat meminimalkan potensi lalu lintas, gerakan pejalan kaki, kualitas udara, polusi suara, atau gangguan visual, dan juga untuk melindungi daerah-daerah dengan nilai budaya atau sejarah khusus seperti konservasi distrik, bangunan atau property pribadi, atau untuk alasan keberlanjutan lainnya seperti untuk menghindari dampak pada kebiasaan alami atau mengurangi gangguan ke permukaan tanah.

5.1.1. Bentuk Terowongan dan Elemen Internal

Ada tiga bentuk utama jalan terowongan yaitu: melingkar, persegi panjang, dan tapal kuda (lengkung). Bentuk terowongan

sangat bergantung pada metode yang digunakan untuk membangun terowongan dan kondisi tanah.



Gambar 5.1 Jenis – Jenis Terowongan; (a) Terowongan Melingkar; (b) Terowongan Persegi Panjang; (c) Terowongan Tapal Kuda dan Oval.

Dapat dilihat pada Gambar 5.1 (a) merupakan terowongan jenis melingkar yang sering dikonstruksi dengan metode yang menggunakan *Tunnel Boring Machine* (TBM) atau dengan bor dan ledakan di batu. Gambar 5.1 (b) merupakan terowongan jenis persegi panjang yang sering dikonstruksi dengan metode *cut-and-cover* oleh *immersed method*. Sedangkan pada Gambar 5.1 (c) merupakan terowongan jenis tapal kuda dan oval yang umumnya dibangun dengan menggunakan bor dan ledakan di batu atau dengan mengikuti *Sequential Excavation Method* (SEM), yang juga diketahui sebagai *New Austrian Tunneling Method* (NATM).

5.1.2. Kelas Jalan dan Ukuran Jalan

Sebuah terowongan dapat dirancang untuk mengakomodasi setiap kelas jalan dan ukuran kendaraan apa pun. Kelas-kelas jalan raya dibahas dalam Kebijakan tentang Desain Geometris Jalan Raya dan Jalan Bab 1, AASHTO (2004). ukuran dan jenis kendaraan yang harus dipertimbangkan tergantung pada kelas jalan. Umumnya, konfigurasi geometris terowongan harus mengakomodasi semua kendaraan potensial yang menggunakan jalan menuju terowongan.

5.1.3. Kapasitas Lalu Lintas

Terowongan jalan harus memiliki setidaknya kapasitas lalu lintas yang sama dengan jalan permukaan. Pada terowongan kepadatan lalu lintas dikendalikan dengan cara pengurangan jumlah jalur. Namun, lalu lintas akan melambat jika lebar lajur kurang dari standar (terlalu sempit) dan akan menghindari dari dinding terowongan jika tidak cukup izin lateral disediakan di dalam terowongan. Juga, langit-langit yang sangat rendah memberi kesan kecepatan dan cenderung memperlambat lalu lintas. Oleh karena itu, penting untuk menyediakan lebar dan tinggi lajur yang memadai yang sebanding dengan jalan pendekatan.

5.2. Metode Pelaksanaan Pekerjaan Alternatif

Pada subbab ini akan dijelaskan metode pelaksanaan *drilling and blasting* pada Terowongan Notog BH 1440 di Purwokerto.

5.2.1. Pekerjaan Proteksi Portal Terowong

- **Definisi Pekerjaan**

Pekerjaan proteksi portal dilaksanakan setelah pekerjaan galian tanah terbuka. Proteksi portal berfungsi untuk menjaga stabilitas tanah, mencegah *slope* dari kerusakan iklim, serta untuk keamanan pekerja yang keluar masuk terowongan. Pekerjaan

proteksi portal menggunakan *lattice arch* atau *steel support* dan *sandbag*. Portal dibuat dengan panjang 5 meter.

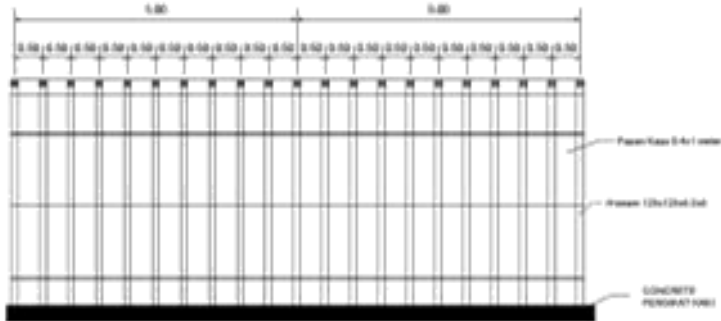
- **Jenis Pekerjaan**

Pada Pekerjaan Proteksi Portal terdapat beberapa item pekerjaan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan Pemasangan *Steel support*
2. Pekerjaan Pengecoran Kaki Penyangga
3. Pekerjaan Pemasangan *Sandbag*

- **Pekerjaan Pemasangan *Steel support***

Pada pekerjaan ini konstruksi yang digunakan menggunakan baja dengan profil *H-beam* 125 x 125 x 6,5 x 9 dengan jarak 0,5 meter setiap baja. Ruang antara *steel support* dipasang papan kayu dengan ukuran 0,4 x 1 meter secara keseluruhan sehingga tidak ada rongga diantara *steel support*.

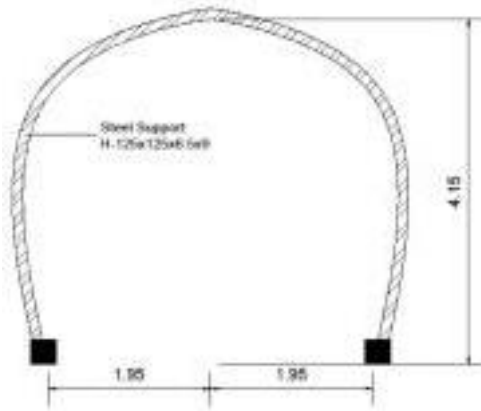


Gambar 5. 2. Potongan Melintang *Steel Support* Portal Terowong

- **Pekerjaan Pengecoran Kaki Penyangga (*Steel support*)**

Setelah pekerjaan pemasangan *steel support* dilakukan pekerjaan pengecoran kaki penyangga (*steel support*) dengan dimensi 0,30 x 0.30 meter. Pekerjaan ini berfungsi untuk mengikat

kaki *steel support* agar tidak bergerak. Pada kaki *steel support* dilakukan pengecoran secara menerus agar mengikat antar *steel support* sehingga menghindari pergerakan dikaki-kaki *steel support*.

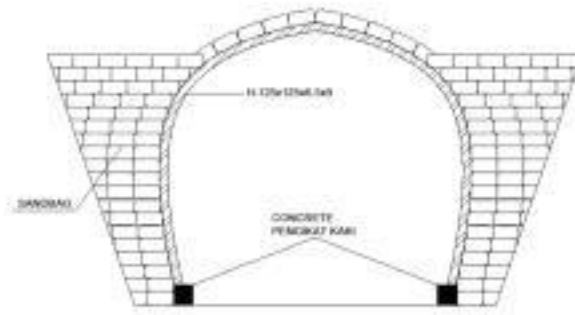


Gambar 5. 3. Concrete Pengikat Kaki Pada *Steel support*

- **Pekerjaan Pemasangan *Sandbag***

Sandbag adalah kantung pasir yang terbuat dari *non woven geotextile* berbahan *polyester* (pet) atau *polypropylen* (pp). berbentuk karung yang dijahit dengan menggunakan benang khusus berbahan *polyester* yang tahan terhadap *uv* dan memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi. Di jahit dengan dua lapis jahitan sehingga *geobag* ini memiliki daya tahan robek pada jahitan sangat tinggi.

Pemasangan *sandbag* dilakukan disekeliling portal dan diatas portal dipasang satu lapis dengan asumsi agar ketika terjadi longsor dari atas *sandbag* dapat menahan beban longsor sehingga tidak langsung mengenai struktur utama portal yaitu *steel support*.



Gambar 5. 4. *Sandbag* pada bangunan portal terowong

5.2.2. Pekerjaan *Drilling*

- **Definisi Pekerjaan**

Pekerjaan pemboran (*drilling*) adalah pekerjaan pembuatan lubang untuk pengisian bahan peledak pada proses pekerjaan peledakkan (*blasting*).

- **Metode Pelaksanaan**

- **Menandai Titik Bor (*Marking*)**

Pekerjaan *marking* dilakukan sebelum pekerjaan *drilling* dilaksanakan. Titik lubang bor umumnya ditandai menggunakan cat semprot atau yang sejenis dan tidak mudah luntur oleh air karena pada bukaan bawah tanah selalu terdapat air. Tidak jarang Juru Ledak harus berkoordinasi langsung dengan Juru Bor apabila sulit memberi tanda terhadap titik-titik lubang bor. Yang perlu diperhatikan adalah spesifikasi lubang bor yang meliputi bentuk *cut*, spasi, diameter, kemiringan, dan kedalaman lubang harus diinformasikan kepada Juru Bor.

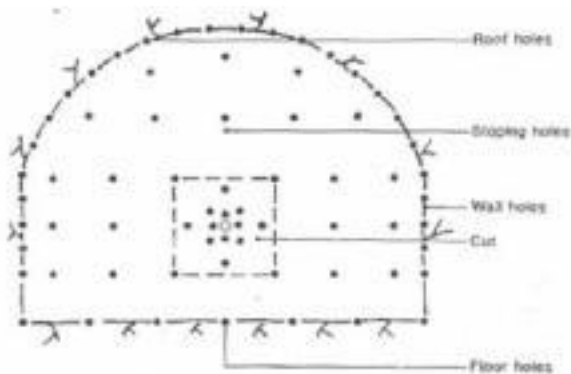
Pemberian tanda atau titik-titik lubang bor disertai spesifikasinya, yaitu diameter, kedalaman, dan kemiringan.

- Pekerjaan *Drilling*

Sebelum dilakukan pengeboran (*drilling*), dilaksanakan terlebih dahulu *survey* dan *marking* oleh tim *surveyor* yang bertujuan untuk menentukan titik-titik pengeboran.

Kedalaman titik bor 1 meter tergantung dari jenis batuan yang ada di lapangan. Beberapa faktor yang mempengaruhi pekerjaan *drilling* yaitu sifat batuan, durabilitas batuan (ketahanan batuan terhadap cuaca dan air), umur dan kondisi mesin bor, keterampilan operator, dan geometri pemboran. Pada saat pekerjaan *drilling* koordinasi antara Juru Bor dan Juru Ledak sangatlah penting dengan maksud untuk saling mengontrol demi keselamatan kerja secara menyeluruh.

Pada terowongan umumnya hanya terdapat satu bidang bebas, yaitu permukaan kerja atau "*face*". Untuk itu perlu dibuat tambahan bidang bebas yang dinamakan "*cut*". Beberapa tipe "*cut*" pada terowongan yaitu *burn cut*, *drag cut*, *v-cut*, *fan cut*, dan *pyramid cut*.



Gambar 5. 5. Pola Pengeboran *Burn Cut*

Keterangan gambar:

Lubang lantai (*floor holes*)

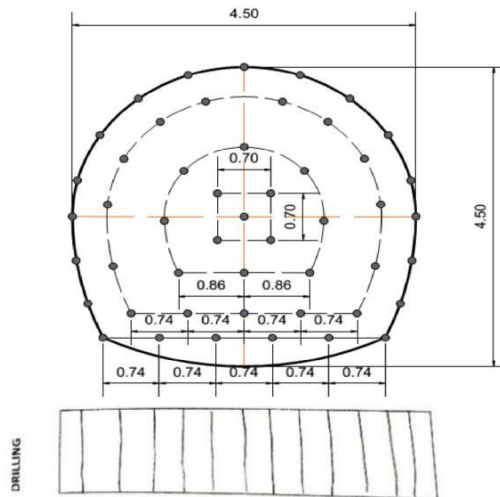
Lubang dinding (*wall holes*)

Lubang atap (*roof holes*)

Lubang *stopping* arah pemecahan keatas dan horizontal

Lubang *stopping* arah pemecahan kebawah

Pada terowong Notog BH 1440 ini digunakan pola *burn cut* yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



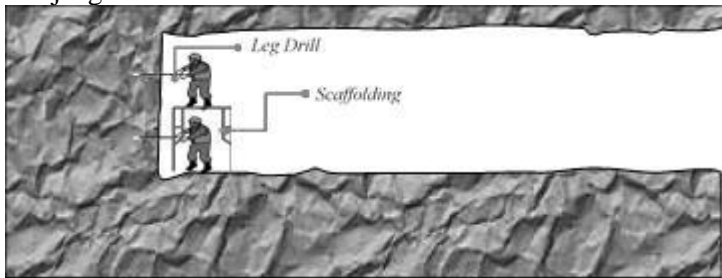
Gambar 5.6 Pola Lubang Pengeboran *Burn Cut* Pada Terowongan Notog BH 1440

Dari gambar diatas (lihat gambar 4.13) yaitu hasil trial peledakkan didapatkan pola pengeboran yang tidak selalu lurus. Penentuan pola pengeboran ini dapat berubah-ubah sesuai kondisi batuan, sebelum menentukan pola pengeboran (*drilling pattern*), dilakukan trial terlebih dahulu sehingga didapatkan hasil galian yang maksimal dan dapat meminimalisir terjadinya *overbreak* pada hasil galian. *Overbreak* merupakan kondisi dimana hasil dari peledakkan (*blasting*) melebihi dari desain rencana.

Pelaksanaan menggunakan *Leg Drill* dilakukan pada awal-awal galian dengan asumsi jenis batuan yang ada pada awal terowong merupakan batuan lepas sehingga jika

menggunakan alat CRD (*Crawler Rock Drill*) dapat berakibat lubang-lubang hasil pengeboran menjadi runtuh sehingga hasil peledakkan tidak akan maksimal. Penggunaan alat CRD (*Crawler Rock Drill*) dilakukan apabila kondisi struktur batuan keras terus menerus.

Pada saat pelaksanaan pengeboran dibutuhkan *scaffolding* yang berfungsi untuk mencapai titik bor yang sulit dijangkau.



Gambar 5.7. Ilustrasi Pekerjaan *Drilling*

5.2.3. Pekerjaan *Charging* dan *Blasting*

- **Definisi Pekerjaan**

Charging adalah pekerjaan pengisian bahan peledak. *Blasting* adalah pekerjaan peledakkan terowong atau pekerjaan menghancurkan tebing terowong dengan menggunakan bahan peledak.

- **Metode Pelaksanaan**

- **Pekerjaan Pengisian Bahan Peledak (*Charging*)**

Sebelum dilakukan pengisian bahan peledak (*charging*) ke dalam lubang-lubang yang telah di bor, beberapa hal harus diperhatikan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memeriksa Kedalaman Lubang Bor
2. Memeriksa adanya penghambat
3. Memeriksa Air
4. Memeriksa Rongga dan Retakan

5. Menutup Rongga Dalam Lubang ledak

Metode pelaksanaan pada saat pengisian bahan peledak adalah sebagai berikut:

1. Pengisian Primer

Yang perlu diperhatikan di dalam mengisi lubang ledak adalah letak primernya. Terdapat tiga cara meletakan primer, yaitu *bottom priming*, *center* atau *middle priming*, dan *collar* atau *top priming*, yang diuraikan sebagai berikut:

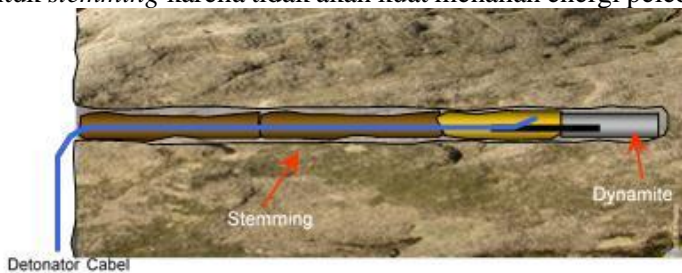
- *Bottom priming*: Adalah meletakan primer di bagian bawah lubang ledak yang jaraknya dari dasar lubang tergantung pada ukuran *subdrilling*, yaitu antara 50 – 100 cm. Urutan pengisian dimulai dari memasukkan bahan peledak sepanjang sekitar 50 cm, dilanjutkan dengan primer, kemudian “isian utama”, dan diakhir dengan penyumbat (*stemming*).
- *Center priming*: Adalah meletakan primer dibagian tengah “isian utama” bahan peledak. Pertama kali dimasukkan bahan peledak utama, setelah sekitar setengah tinggi kolom isian utama, dimuatkan primer, dilanjutkan dengan bahan peledak utama kembali, dan diakhiri dengan penyumbat.
- *Collar* atau *top priming*: Adalah meletakan primer dibagian atas isian bahan peledak (*collar*). Diawali dengan memasukkan bahan peledak utama sampai sekitar 30 – 50 cm dari batas isian utama. Setelah itu masukkan primer, dilanjutkan isian utama sampai batas yang direncanakan, kemudian diakhiri dengan memuat penyumbat.

2. Pengisian “Isian Utama”

Menuangkan bahan peledak ke dalam lubang ledak yang berdiameter “kecil”, “sedang”, atau “besar” dapat dilakukan secara manual atau mekanis. Dengan cara manual, bahan peledak (biasanya ANFO) dituang langsung ke dalam lubang ledak menggunakan tempat sederhana, misalnya ember plastik, yang telah ditetapkan volumenya.

3. Pengisian Penyumbat (*Stemming*)

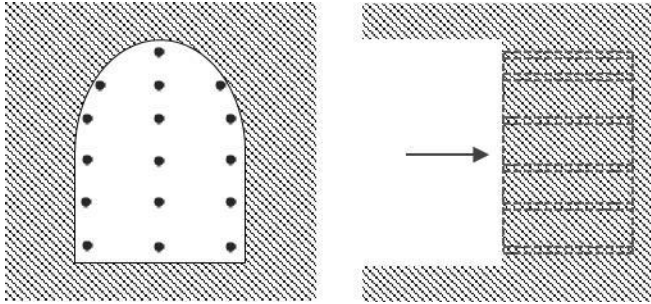
Penyumbat sebaiknya adalah material 0,5 – 1,0 cm atau batu split karena setelah dipadatkan akan terjadi ikatan kuat antar butir dan saling mengunci. Maksud penguncian antar butir adalah agar cukup kuat menahan energi peledakan, sehingga tidak terjadi *stemming ejection* dan sebagian besar energi didistribusikan ke arah *horizontal*. Apabila tidak tersedia, baik juga digunakan *cutting* hasil pengeboran. Sebaiknya tidak menggunakan tanah liat, pasir halus, kertas karton atau karung bekas kemasan bahan peledak untuk *stemming* karena tidak akan kuat menahan energi peledakan.



Gambar 5. 8. Ilustrasi Pengisian Bahan Peledak (*Charging*)

- Pekerjaan Peledakkan (*Blasting*)

Pekerjaan peledakkan (*blasting*) terowong ini menggunakan metode sistem *fullface with blasting* dikarenakan dimensi terowongan yang tidak terlalu besar. Pada metode ini terowongan digali secara sekaligus untuk seluruh luasan penampang terowongan (lihat Gambar 5. 9).



Gambar 5. 9. *Full Face Method*

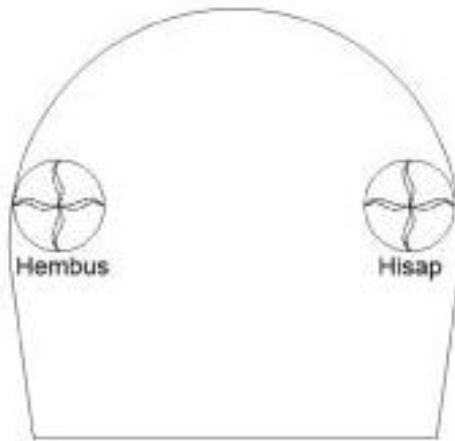
1. Persiapan Peledakkan

Sebelum pelaksanaan pekerjaan peledakkan (*blasting*) dilakukan metode pelaksanaan sebagai berikut:

1. Memastikan area bebas dari kegiatan
2. Memastikan telah menggunakan APD (Alat Peindung Diri) bagi tim *blasting* dan pekerja lainnya yang terlibat langsung dalam pekerjaan peledakkan
3. Memasang rambu-rambu peringatan
4. Menentukan zona bahaya dan zona aman
5. Memasang tanda peringatan sebelum peledakkan dapat erupa sirine, pluit, megaphone dan sebagainya
6. Memasang ventilasi (*ventilating*)
7. Sebelum peledakkan (*blasting*) pertama-tama dimulai dengan cek *survey* oleh tim *surveyor* dan *marking* (menandai lubang ledak) terlebih dahulu untuk menentukan batas-batas terowong dan titik-titik untuk diisi bahan peledak (*charging*)
8. Selanjutnya mulai pengisian bahan peledak yaitu *dynamite*, *dayagel* diameter 30mm L=190mm, dan detonator elektrik LW=3m
9. Setelah itu peledakkan dapat dimulai dengan persiapan yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya
10. Selanjutnya pembersihan hasil peledakkan dengan menggunakan *wheel loader* ke *disposal area*. Untuk

permukaan hasil peledakkan yang tidak rata perlu dilakukan perapihan galian (*chipping*)

Pemasangan ventilasi bertujuan untuk menyuplai udara dan mengeluarkan udara atau gas beracun dari hasil peledakkan. Pemasangan ventilasi yang digunakan adalah sistem hisap hembus (*overlap system*).



Gambar 5. 10. Sistem Ventilasi

Sistem ini merupakan gabungan dari sistem hisam (*exhausting*) dan hembus (*forcing*). Sistem ini menggunakan 2 *fan* yang memiliki tugas berbeda satu sama lain. Ada *fan* yang bertugas menyuplai udara ke dalam (*intake fan*), ada *fan* yang bertugas untuk menghisap udara dari dalam (*exhausting fan*). *Exhaust fan* dipasang lebih mundur (lebih jauh) dari dalam penggalian atau peledakkan. Sedangkan *intake fan* dipasang lebih dekat dengan penggalian atau peledakkan. Hal ini untuk mencegah udara yang disuplai langsung dihisap oleh *exhaust fan* sehingga udara akan memiliki waktu untuk bersirkulasi pada area penggalian peledakkan.

2. Teknik Peledakkan

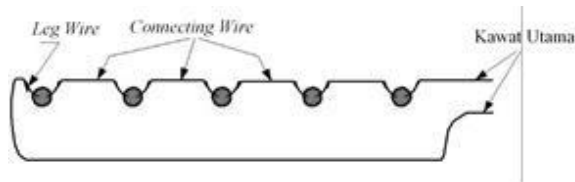
1. Persiapan bahan peledak

Pada terowong pengelak Notog BH 1440 menggunakan bahan peledak jenis *detonator* dengan $L = 3\text{ m}$ serta *dayagel* dengan diameter = 30 mm, $L = 190\text{ mm}$

2. Penetapan Rangkaian dan Perakitan Bahan Peledak

Ada 3 macam rangkaian bahan peledak yaitu rangkaian seri, paralel-seri dan rangkaian paralel.

Rangkaian Seri adalah rangkaian yang sangat sederhana dengan arus minimum yang disuplai *blasting machine* pada setiap detonator sekitar 1,5 Amper untuk menjamin tiap detonator tersebut meledak sempurna.



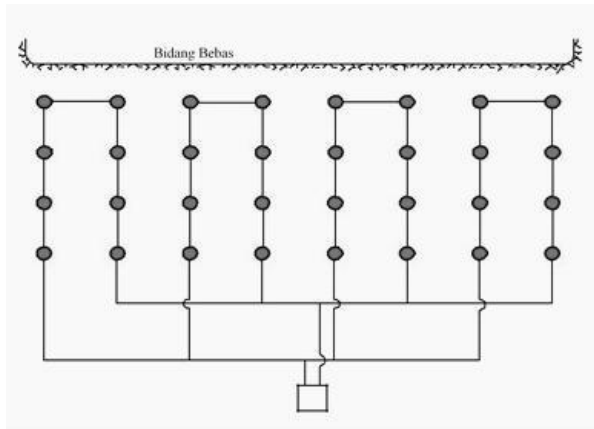
Gambar 5. 11. Rangkaian Seri
(sumber : <http://digilib.mercubuana.ac.id/>)

Legwire adalah dua kawat yang menjadi satu dengan detonator listrik yang salah satu ujung dihubungkan dengan *bridge wire* yang terdapat didalam detonator.

Connecting wire adalah kawat yang mempunyai isolasi dipakai untuk menghubungkan *legwire* dengan *firing line*.

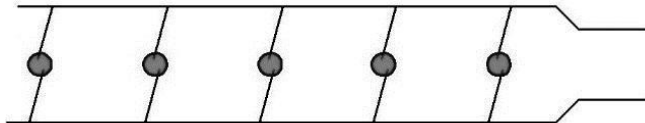
Rangkaian Paralel-Seri terdiri dari sejumlah rangkaian seri yang dihubungkan paralel.

Umumnya rangkaian ini diterapkan apabila peledakan memerlukan lebih dari 40 *detonator* dengan *leg wire* setiap *detonator* lebih dari 7 m serta dipertimbangan bahwa apabila seluruh lubang ledak dihubungkan secara seri memerlukan power yang besar.



Gambar 5. 12. Rangkaian parallel-seri
(sumber: <http://digilib.mercubuana.ac.id>)

Rangkaian Paralel adalah suatu rangkaian di mana setiap detonator mempunyai alur alternatif dalam rangkaian tersebut, sehingga apabila salah satu atau beberapa detonator mati, detonator yang lainnya masih dapat meledak.

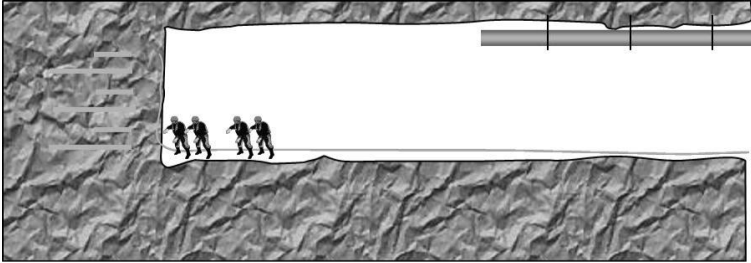


Gambar 5. 13. Rangkaian Paralel
(sumber : <http://digilib.mercubuana.ac.id/>)

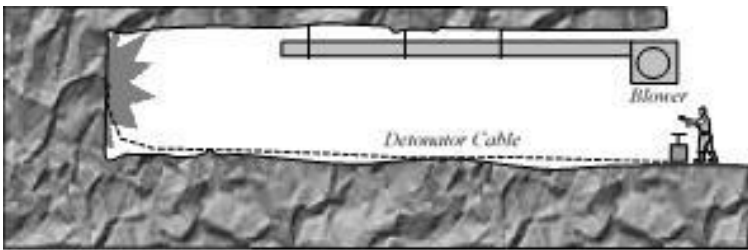
3. Pemeriksaan Setelah Peledakkan

1. Pemeriksaan gas beracun setelah peledakkan
2. Memastikan bahan peledakkan telah aman
3. Setelah peledakkan dilaksanakan pelaksana memeriksa lubang ledak, apabila ada lubang yang gagal ledak

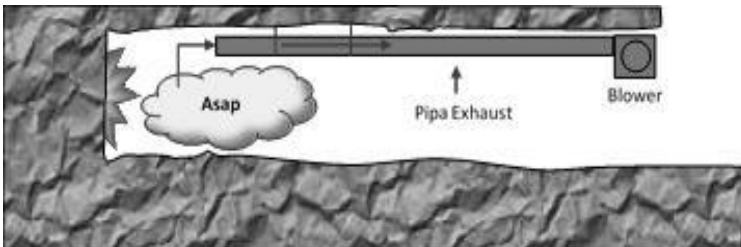
pelaksana harus melaporkan kepada pengawas untuk segera ditangani.



Gambar 5. 14. Ilustrasi Pekerjaan *Charging*



Gambar 5. 15. Ilustrasi Proses Peledakkan



Gambar 5. 16. Asap Peledakkan Dikeluarkan Melalui *Pipa Exhaust*

5.2.4. Pekerjaan *Mucking*, *Scaling* dan *Chipping*

- **Definisi Pekerjaan**

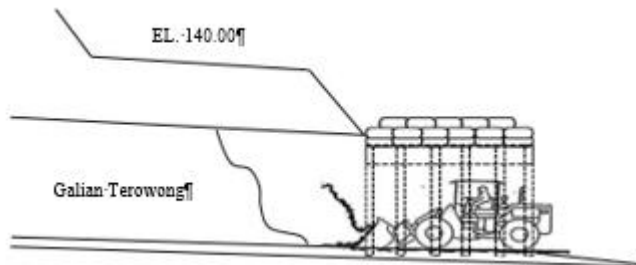
Mucking adalah pekerjaan pembuangan material hasil peledakkan (*blasting*). *Scaling* adalah pekerjaan membongkar batu-batu yang masih tersedia pada permukaan galian setelah peledakkan (*blasting*), yang dapat membahayakan. *Chipping* adalah pekerjaan meratakan bagian-bagian yang terowong yang tidak hancur setelah peledakkan (*blasting*).

- ***Mucking***

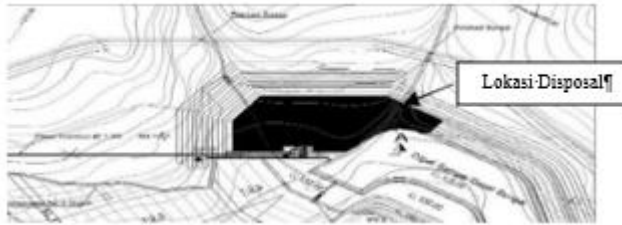
Pada proses pembersihan hasil peledakkan merupakan kegiatan yang sangat vital untuk menentukan kecepatan produksi dalam pelaksanaan pekerjaan galian terowongan. Maka dari itu komposisi dan metode kerja untuk pelaksanaan pembersihan ini harus diperhitungkan secara detail.

Rencana pelaksanaan pembangunan terowongan Notog BH 1440 akan menggunakan 2 alat berat *wheeloader* dari masing-masing sisi galian yaitu *inlet* dan *outlet* terowong sehingga dapat memaksimalkan waktu produksi galian terowong.

Pada pelaksanaan galian terowongan Notog BH 1440 akan menggunakan *wheeloader komatsu 150* (WA.150) atau merek lain dengan kapasitas yang sama.



Gambar 5. 17. Ilustrasi Pekerjaan *Mucking*



Gambar 5. 18. Lokasi Disposasi Pada Outlet Terowongan

Dimensi terowongan Notog BH 1440 yang hanya berukuran 4 (empat) meter, maka metode pelaksanaan pembersihan material hasil peledakkan (*mucking*) adalah sebagai berikut:

1. *Wheel loader* masuk ke dalam terowongan kemudian menurunkan *bucket* diatas permukaan tanah,
2. Kemudian *bucket* mendorong ke depan untuk mengambil material hasil peledakkan sampai kapasitas *bucket* penuh.
3. Setelah itu *wheel loader* berjalan mundur untuk membuang material hasil peledakkan ke *disposal area* yang berada disisi luar terowongan
4. Kemudian *wheel loader* kembali masuk terowongan untuk mengambil material hasil peledakkan

- ***Scaling***

Proses pekerjaan *scaling* dilakukan setelah proses pekerjaan *mucking* selesai. Tujuan pekerjaan *scaling* adalah untuk membongkar batuan-batuan yang masih menggantung yang berpotensi menimbulkan bahaya. Pekerjaan ini menggunakan *excavator* dengan *hydraulic breaker*.

- ***Chipping***

Proses pekerjaan *chipping* dilakukan setelah pekerjaan *scaling*, tujuan pekerjaan ini adalah untuk meratakan bagian-bagian terowong yang tidak hancur (*under break*) saat proses peledakkan sehingga pemasangan penyangga terowong atau *steel*

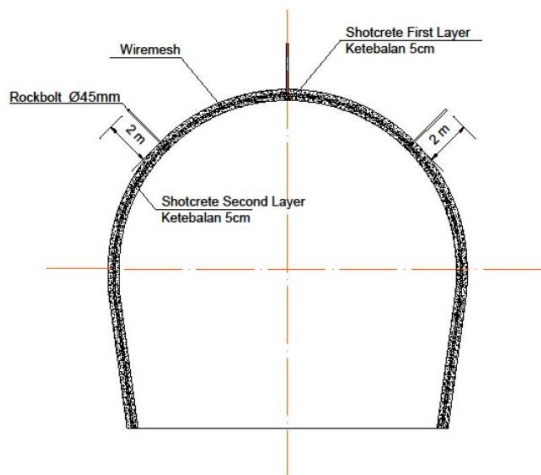
support tidak bisa dilakukan. Pekerjaan *chipping* tidak terus menerus dilakukan karena jika hasil dari peledakkan tidak mengalami *underbreak* maka pekerjaan ini tidak perlu dilakukan.

5.2.5. Pekerjaan Pemasangan Penyangga Awal Terowong

- **Definisi Pekerjaan**

Segera sesudah penggalian terowongan, perlu dipasang penyangga awal untuk mencegah terjadinya keruntuhan didalam terowongan, karena sekali saja batuan mengalami keruntuhan maka keruntuhan akan sulit untuk dicegah lagi.

Oleh karena itu perlu dipasang penyangga awal untuk mencegah terjadinya keruntuhan didalam terowongan. Penyangga awal didalam terowongan ini menggunakan *shotcrete* yang diperkuat dengan *wire mesh* atau bisa juga diperkuat dengan rockbolt dan *steelsupport* berupa baja *H-Beam* (H 125x125x6,5x9) sebelum selanjutnya dikerjakan penyangga permanen yaitu *lining concrete*. Pekerjaan Penyangga Awal Terowongan dimulai setelah peledakkan dengan jarak minimum 30 meter dari hulu ledak setelah pekerjaan *mucking*, *scaling* dan *chipping*.



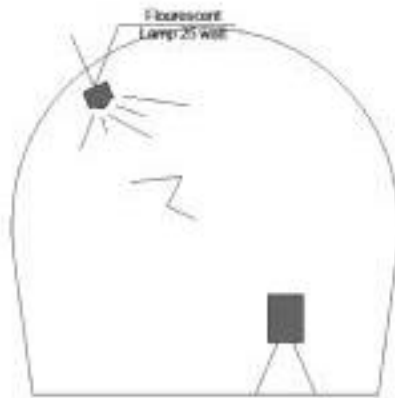
Gambar 5. 19. Peyangga Awal Terowong

- **Penanganan *Overbreak***

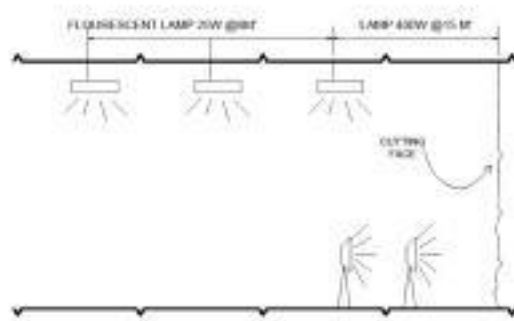
Overbreak merupakan kondisi dimana hasil dari blasting melebihi dari desain rencana, untuk menangani kondisi tersebut maka dipasang karung yang berisi sekam selama pelaksanaan pekerjaan terowong berlangsung sebelum dilakukan pekerjaan shotcrete. Pada saat pekerjaan shotcrete berlangsung maka karung sekam tersebut diambil dan langsung ditutup dengan *shotcrete*. Tujuan pemakaian karung sekam dengan asumsi bahwa fungsi sekam sebagai peredam ketika batuan kecil – kecil yang masih menggantung terjatuh, sehingga tidak langsung mengenai pekerja terowong.

- **Pekerjaan Pemasangan Lampu Penerangan**

Pekerjaan lampu penerangan ini menggunakan lampu *Flourescent* kapasitas 25 watt dan lampu *Halogen* yang dapat dipindahkan di sekitar tempat yang akan digali.



Gambar 5. 20. Ilustrasi Sistem Penerangan



Gambar 5. 21. Potongan Memanjang Sistem Penerangan

- **Pekerjaan *Shotcrete First Layer* dan *Second Layer***

Shotcrete yaitu campuran semen dan air yang cara pemasangannya dilaksanakan dengan cara menyemprotkan ke permukaan batuan yang akan disangga/dipikul. Lapisan *shotcrete* ini diperkuat dengan *wiremesh* tipe C4, yaitu dengan diameter 4 mm, dan jarak mesh 100 x 100 mm.

Pekerjaan *shotcrete* dilakukan secara bersamaan dengan pekerjaan galian (*blasting*) dengan jarak aman dari muka peledakan 30 meter, dengan asumsi jarak tersebut merupakan jarak aman sehingga lapisan *shotcrete* tidak rusak terkena hentakan dari *blasting*.

Tipe *shotcrete* yang digunakan yaitu campuran kering (*Dry Mix*), yaitu material dicampur dalam keadaan kering (belum dicampur air), kemudian dialirkan melalui pipa alat penyampur air. Perbandingan antara bahan dan air diatur sedemikian rupa dengan perbandingan tertentu. Cara ini dipakai pada pekerjaan *shotcrete* didalam terowongan yang relative lembab.

- Tipe *shotcrete* untuk terowong adalah campuran kering (*Dry Mix*).
- Gradasi dari agregat harus sesuai dengan spesifikasi, dengan campuran semen $> 400 \text{ kg/m}^3$
- Menggunakan mesin *pneumatic high velocity* untuk pekerjaan *shotcrete* yang mampu menyembrotkan campuran agregat hingga ketebalan s/d 5 cm
- Ketebalan *shotcrete* adalah 5 cm/layer, dan dikerjakan dua kali layer sehingga tebal *shotcrete* pada terowongan 10 cm. Layer pertama yaitu lapisan *shotcrete* tanpa tulangan dan dikerjakan setelah proses *mucking* selesai. Layer kedua yaitu lapisan *shotcrete* dengan tulangan / *wiremesh*.

Alasan utama penggunaan jenis ini pada terowongan adalah:

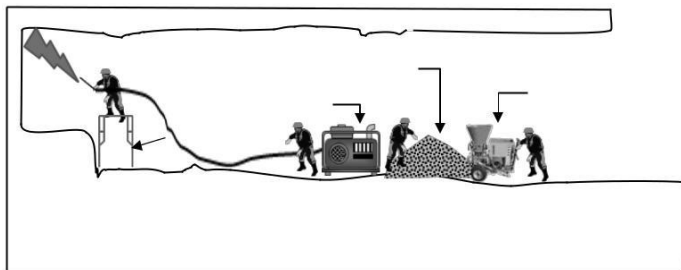
- Dinding terowongan mengeluarkan air/lembab, sehingga diharapkan tidak terjadi kelebihan kadar air dalam campuran.
- Dari segi pelaksanaan, karena gerak dalam terowongan yang terbatas (relatif sempit), maka insitu *mixing* tidak mungkin dilakukan.

Pekerjaan *shotcrete* ini dilakukan setelah pekerjaan *blasting* (peledakan), kemudian dilanjutkan pemasangan *wiremesh* dan material – material selain material tersebut telah dibersihkan.

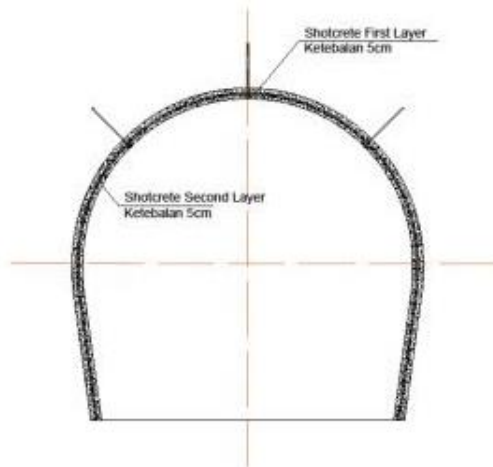
- **Metode Pelaksanaan Pekerjaan *shotcrete*:**

1. Persiapan material pada lokasi pencampuran. Peletakan material diletakkan disekitar mesin *shotcrete* untuk mempermudah pencampuran pada

- mixer* / molen. Material secara teratur didekatkan pada mesin *shotcrete*.
2. Material selanjutnya dicampurkan sesuai takaran pencampuran yang direncanakan dengan menggunakan *mixer* / molen tanpa menggunakan air.
 3. Dari hasil pencampuran tersebut, material dimasukkan kedalam mesin *shotcrete* yang telah terhubung dengan kompresor sebagai penekan material.
 4. Material yang ditekan melalui selang *hose* yang ujungnya terdapat kepala selang yang memiliki kran yang sudah dihubungkan dengan pompa yang sudah terhubung dengan drum air yang sudah dicampurkan dengan bahan tambahan (adiktif).
 5. Material ditambahkan kearah yang ingin dikerjakan dengan ketebalan 5 cm (layer 1) tanpa tulangan. Pada kondisi batuan dengan nilai *standup* yang kecil maka pelaksanaan *shotcrete* tanpa tulangan setebal 5 cm perlu dilakukan setelah proses *mucking* selesai. Hal ini bertujuan agar celah pada batuan tersebut tidak termasuki oleh udara yang cukup lama sehingga dapat mengurangi resiko keruntuhan pada terowong.
 6. *Shotcrete* Layer ke 2 dilakukan setelah *rockbolt* dan *wiremesh* terpasang. *Shotcrete* Layer ke 2 berfungsi untuk melapisi terowongan sebelum di *concrete lining* dengan ketebalan 5 cm.



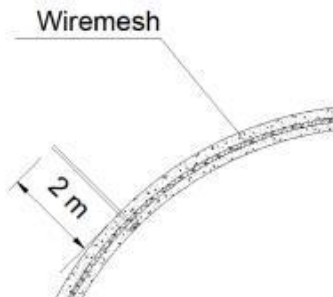
Gambar 5. 22. Ilustrasi Pekerjaan Shotcrete



Gambar 5. 23. Shotcrete First Layer and Second Layer

- **Pekerjaan Pemasangan Wiremesh**

Pekerjaan pemasangan *wiremesh* dilakukan setelah proses *mucking* dan *scaling* selesai, pemasangan ini dilakukan dengan cara manual menggunakan tenaga manusia. Pemasangan *wiremesh* ditempelkan pada permukaan dinding terowong dengan pin yang dipakukan (*rockbolt*) ke permukaan terowongan.

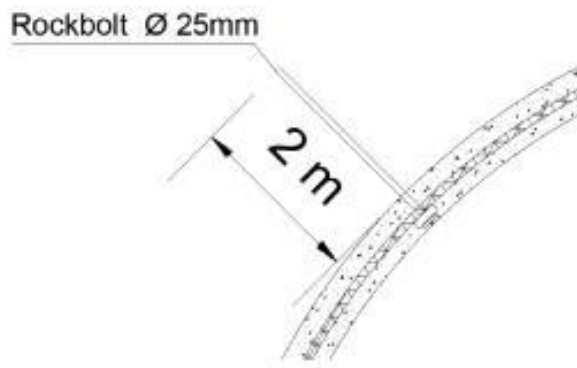


Gambar 5. 24. Wiremesh Setelah Terpasang

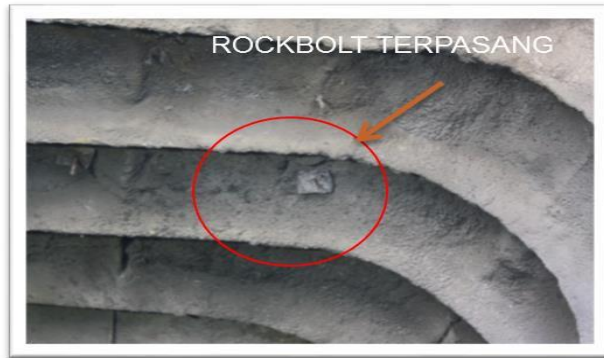
- **Pekerjaan Pemasangan *Rockbolt***

Metode Pelaksanaan pekerjaan pemasangan *rockbolt* adalah sebagai berikut:

- Pengeboran lubang menggunakan *leg drill* atau CRD (*Crawler Rock Drill*) dengan diameter 40 mm.
- Lubang Bor harus dibor dengan tepat sesuai lokasi dan interval yang telah ditentukan.
- *Rockbolt* material untuk pembesian dibuat dengan nut & washer diameter 25 mm, L = 2,00 m
- Perbaikan *bolt/nut* dengan alat pengunci.
- Kekuatan tarik *rockbolt* sesudah terpasang dalam jangka waktu maksimum 2 jam, tidak boleh kurang dari 30 KN



Gambar 5. 25. Potongan Melintang *Rockbolt*

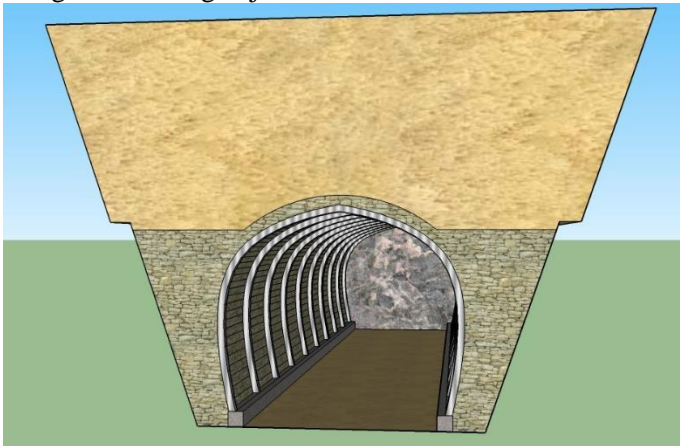


Gambar 5. 26. *Rockbolt* yang Telah Terpasang

5.2.6. Pekerjaan Pemasangan *Steel support*

- **Definisi Pekerjaan**

Pekerjaan ini dilakukan setelah pekerjaan penyangga awal terowong selesai dengan jarak 30 meter dari hulu ledak.



Gambar 5. 27. *Steel support* Yang Telah Terpasang

Material *steelsupport* terbuat dari besi *H-Beam* ukuran 125x125x6,5x9 mm dengan jarak antar *steelsupport* 1 (satu) meter, disepanjang area terowongan, sedangkan jarak *steel support* 0,50 meter dipasang pada area portal *inlet* maupun outlet terowongan. Peralatan yang digunakan untuk memasang *steel support* dengan tenaga manual. Penyambungan pada setiap potongan *steelsupport* menggunakan mur dan baut. Untuk menahan terjadinya pergeseran *steelsupport* yang diakibatkan oleh hentakan *blasting* maka antar *support* diberi kayu dolken sebagai penguat sehingga jarak antar *support* tidak berubah.

Sebelum pekerjaan galian dimulai, *steel support* perlu didesain dan difabrikasi terlebih dulu. Bentuk *steel support* biasanya mengikuti *lining tunnel*. Hubungan antara *steel support* dibuat dua macam untuk tekan dengan balok kayu, untuk tarik dengan batang besi dibaut.

Sistem penyangga besi yang digunakan yaitu jenis *Rib* and *Post*, jenis ini biasanya untuk terowongan ukuran besar, yaitu terdiri dari empat bagian yang ditemukan. Untuk jenis ini fabrikasinya terdiri dari empat potong untuk setiap support, yaitu dua *rib* kiri dan kanan dan dua *post* kiri dan kanan. *post* dan *rib* masing – masing dihubungkan dengan baut pada saat pemasangan. Kemudian *rib* kiri dan kanan juga dihubungkan dengan baut.



Gambar 5. 28. *Steel support* Rib dan Post

- **Jarak Antar *Steel support***

Kadang – kadang suatu terowongan melalui berbagai jenis tanah yang tidak sama. Untuk tanah yang stabil, diperlukan penyangga yang lebih sedikit/kecil, dibanding untuk tanah yang kurang stabil, karena perbedaan beban yang harus dipikul oleh penyangga tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut, dapat dipilih 2 (dua) cara, yaitu:

Perbedaan jarak penyangga, tetapi dengan menggunakan dimensi yang sama (*spacing steel support*).

Perbedaan dimensi penyangga, tetapi dengan jarak yang sama (*weight of steel rib*).

Dari dua cara diatas, pada kontruksi terowongan Notog BH 1440 digunakan cara yang pertama, yaitu perbedaan jarak penyangga, tetapi dengan menggunakan dimensi yang sama (*spacing steel support*), dengan pertimbangan bahwa lapisan tanah pada area terowong memang terdapat jenis batuan, sehingga diambil dimensi yang sama untuk memikul beban yang sama pula.

Pengaku (*Bracing*)

Antar penyangga yang satu dengan yang lain harus disatukan dengan pengaku, agar menjadi satu kesatuan yang kaku, sehingga tidak mengalami perubahan posisi/pergerakan, terutama selama proses peledakan untuk penggalian terowongan.

Ada dua jenis pengaku yang dikenal dengan nama “*Tie rods* dan *Collar*”. *Collar brace* berfungsi menahan gaya tekan, dan *Tie rods* berfungsi menahan gaya Tarik. Dengan demikian struktur *steel support* menjadi kaku (*collar brace* diambil sebelum pengecoran *lining* terowongan).

Collar brace yang dilepas dapat digunakan kembali pada segmen berikutnya, hal ini diperlukan untuk penghematan saja. Secara struktur bila beton sudah dicor memang tidak diperlukan perkuatan tekan, oleh karena itu dapat dilepas *collar brace*-nya.

5.2.7. Pekerjaan *Linning Concrete*

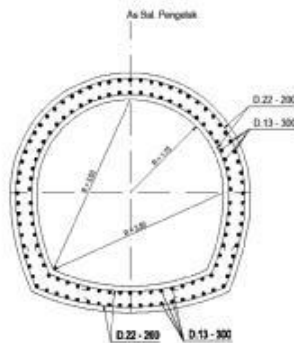
- **Definisi Pekerjaan**

Pekerjaan *lining concrete* adalah pekerjaan pengecoran dinding terowong. Untuk keperluan efisiensi biaya, ketebalan beton *lining tunnel* diusahakan setipis mungkin dengan desain. Ketebalan beton *lining* ini ditentukan oleh kondisi tanah sekeliling *tunnel*, ukuran penampang *tunnel*, dan ketelitian penggalian. Penggalian yang kurang teliti (terlalu besar), menyebabkan bertambahnya volume beton, karena itu *waste* volume beton disini memang harus betul-betul diperkirakan.

Untuk jenis tanah keras, biasanya *waste* beton semakin kecil, hal ini disebabkan karena volume penggalian tanahnya dapat lebih dikendalikan *waste*-nya.

Penulangan

Sebelum pemasangan *form work*, penulangan besi beton dipasang lebih dahulu. Bila pengecoran bertahap, penulangan dapat dilakukan secara bertahap juga dengan cara pemasangan besi starter.



Gambar 5. 29. Detail Penulangan

Metode Pengecoran

Bila terowongan melalui *solid rock*, atau *steel support* cukup kuat untuk menjaga stabilitas bentuk terowongan sampai dengan seluruh penggalian selesai, maka lebih baik pengecoran lining terowongan menunggu setelah seluruh galian selesai. Bila sebaliknya, maka *lining* terowongan harus secepatnya dilaksanakan *overlapping* dengan penggalian.

Pengecoran lining terowongan dapat dilakukan secara sekaligus atau secara bertahap, tergantung bermacam-macam faktor, untuk terowongan Notog BH 1440, yaitu bagian lantai dicor dahulu untuk menyediakan dasar yang kuat untuk menyangga *formwork* dinding dan atap yang akan berdiri diatas lantai kerja dengan tambahan fasilitas rel.

Formwork Terowongan

Banyak jenis bangunan yang lokasi pembangunannya terletak didalam tanah (*under ground construction*), seperti terowongan, *basement* rumah, bangunan untuk keperluan pertahanan.

Terowongan memang tidak semuanya memerlukan pekerjaan *formwork*, bila memang strukturnya tidak menggunakan beton, seperti terowongan yang tanpa *lining*, atau terowongan yang menggunakan

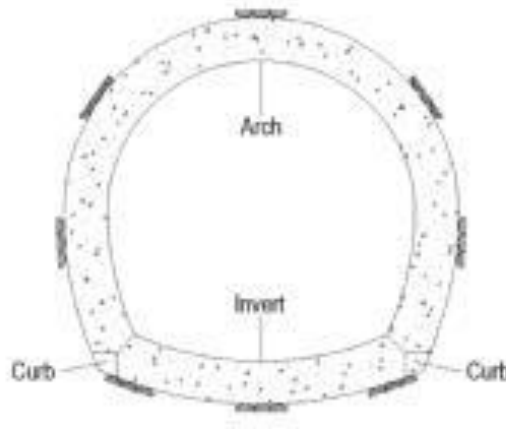
linning dengan metal. Namun demikian sebagian besar terowongan memerlukan *linning* dari beton dalam rangka meningkatkan fungsinya, khususnya untuk terowongan pengelak Notog BH 1440.

Langkah pertama setelah pekerjaan galian terowongan, sebelum pekerjaan *formwork* adalah adalah pekerjaan penyangga sementara (*shotcrete*), kemudian disusul pekerjaan pemasangan *steel support* menggunakan baja *H-Beam* 125x125x6,5x9, dalam rangka menjaga stabilitas galian agar tidak terjadi keruntuhan tanah.

Setiap jenis bangunan mempunyai persyaratan *formwork* yang berbeda, tetapi dalam proses konstruksinya memiliki kondisi yang sama, yaitu kondisi yang kurang menguntungkan, seperti gangguan suara, penerangan, jalan masuk yang sulit, serta ruang kerja yang terbatas. Jalan masuk yang sulit serta ruang kerja yang terbatas tersebut merupakan faktor yang berpengaruh dalam mendesain *formwork*. Sebagian besar *multi-use formwork* telah dikembangkan selama bertahun-tahun oleh perusahaan spesialis *formwork* untuk terowongan. Kecepatan pelaksanaan terowongan sangat dipengaruhi oleh pekerjaan pengecoran, dimana *formwork* memegang peran sangat penting. bentuk tampang terowongan pada umumnya adalah lingkaran (*circular*) atau seperti sepatu kuda (*horse shoe*), tergantung dari fungsi terowongan dan jenis tanah yang dilalui terowongan yang bersangkutan. Bentuk tampang terowongan ini sangat menentukan dalam mendesain *formwork*.

Berkaitan dengan tampang terowongan, maka dalam proses pengecoran beton, biasanya dibagi dalam dua bagian yaitu bagian *invert* dan bagian *arch*. Karena terowongan pengelak Notog BH 1440 ini memiliki dimensi penampang yang tidak terlalu besar maka bagian *arch* tidak perlu dibagi lagi pekerjaannya. Sedangkan untuk bagian *invert* pengecorannya didahului dengan *curbs*.

Curb digunakan bila kondisi pekerjaan memerlukannya. urutan pengecoran adalah sebagai berikut: (1) *Curb*, (2) *Invert*, dan terakhir *Arch*.



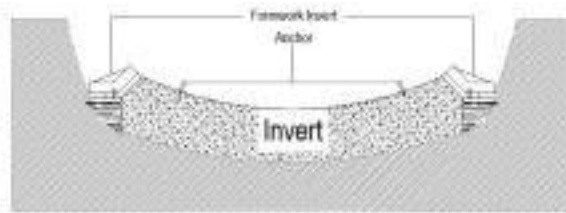
Gambar 5. 30. Bagian-Bagian *Linning Concrete*

- **Pemasangan *Formwork Curb* dan Pengecoran *Curb***

Seperti dijelaskan diatas, banyak dilakukan pengecoran *curb* sebagai awal dari kegiatan pengecoran terowongan, disepanjang kedua sisinya, baik untuk terowongan dengan tampang berbentuk lingkaran maupun berbentuk sepatu kuda. *Curb* yang telah dicor dapat difungsikan sebagai landasan untuk menyetel *formwork invert*, bahkan dapat digunakan sebagai landasan untuk meluncurkan *traveling formwork* untuk *invert*. Untuk keperluan tersebut maka pada saat pengecoran *curb*, dipasang angker-angker yang diperlukan dalam tiap jarak tertentu. *Formwork* untuk *curb* dapat menggunakan kayu dan metal. Pada Notog BH 1440 digunakan *formwork curb* dengan bahan kayu. Pekerjaan pengecoran bagian *curb* ini dilakukan secara bertahap.

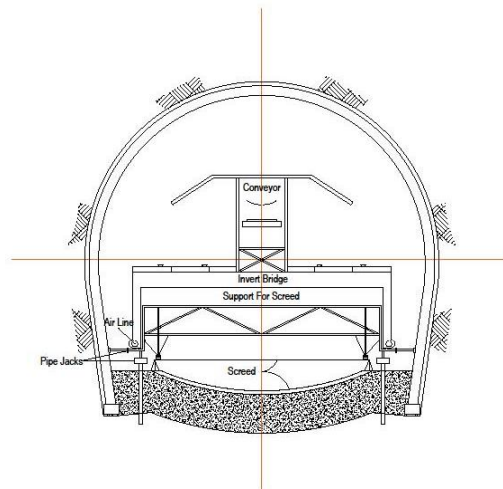
- **Pemasangan *Formwork Invert* dan Pengecoran *Invert***

Formwork untuk bagian *invert* adalah merupakan *formwork* yang simple seperti *formwork curb*, yang dapat dilakukan dengan berbagai cara yang berbeda, tergantung kondisi setempat. *Formwork invert* dapat dipasang baik dengan atau tanpa *curb*. Pada Notog BH 1440 dipasang dengan *curb*.



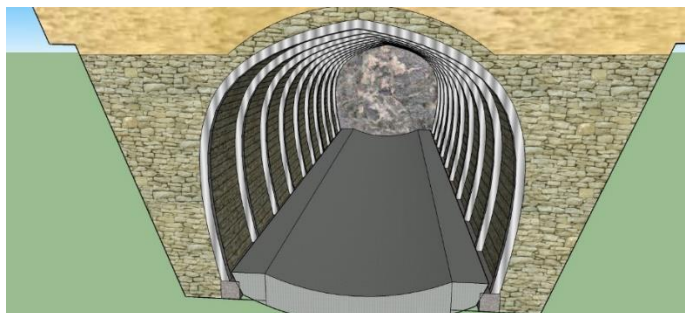
Gambar 5. 31. *Formwork Invert Dengan Curb*

Pada saat pengecoran bagian *invert*, dipasang angker, untuk pegangan *formwork* bagian *arch* atau bagian *sidewall*. Pengecoran bagian *invert* untuk terowongan yang berukuran besar, maka *formwork invert* dan pengecoran dilakukan secara terus menerus (*continuous*) dengan menggunakan *traveling bridge*.



Gambar 5. 32. *Travelling Bridge Untuk Invert*

Pada gambar diatas (lihat Gambar 5. 33) disebutkan kondisi terowongan menggunakan *steel support*. Dengan menggerak-gerakkan *screed*, maka terbentuklah bagian *invert* dari terowongan.



Gambar 5. 33. Bagian Invert Yang Telah Dikor

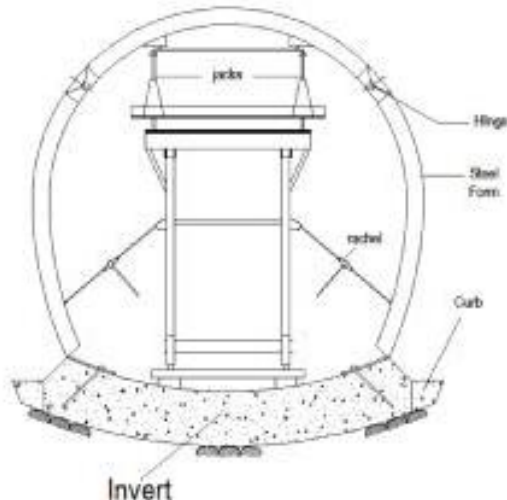
- **Pemasangan *Formwork Arch* dan Pengecoran *Arch***

Pengecoran bagian *arch* adalah tahapan terakhir dari pekerjaan *lining concrete*. Untuk *formwork sidewall*, sama dengan *formwork arch* tetapi bagian yang ditutup hanya bagian sampingnya saja, sedangkan bagian atap ditutup belakangan pada saat pengecoran bagian *arch*. Biasanya *formwork* bagian *sidewall* dan bagian *arch* dibuat secara menyatu. Pegecorannya dapat secara bertahap, didahului *sidewall* kemudian *arch*, atau dicor secara sekaligus. Pada Notog BH 1440 tidak menggunakan tahapan pengecoran bagian *sidewall*. Tahapan pengecoran bagian sidewaal dilakukan secara bersamaan dengan pengecoran bagian *arch*.

Rangka utama dari struktur *formwork* terdiri dari *rib* bagian luar yang berbentuk melengkung sesuai dengan tampang terowongan, dan diperkuat dengan balok-balok memanjang, sepanjang panel *formwork*. *Rib* bagian luarnya ditutup dengan kayu *plywood* atau dengan plat baja. Sedang intinya berupa struktur seperti kereta yang dapat digerakkan mendatar diatas rel. Bantalan rel diletakkan diatas bagian invert yang telah selesai dicor sebelumnya.

Rib terdiri dari tiga bagian dua bagian untuk dinding dan satu bagian lagi untuk atap masing-masing dihubungkan dengan engsel, agar dapat dilipat sewaktu melepas formwork. Ujung-ujung *rib* diikat dengan angker yang sesudah dipasang pada bagian *invert*. Oleh karena itu pemasangan angker pada *invert* harus memiliki akurasi yang tinggi.

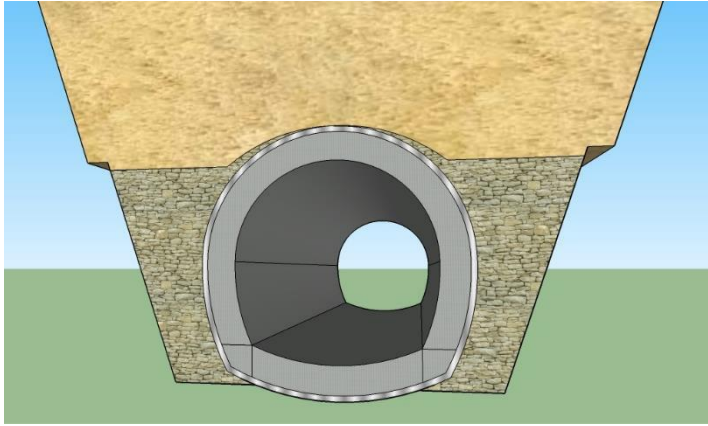
Kemudian diatas *invert* diletakkan balok-balok bantalan untuk memasang rel. kereta *formwork* diletakkan diatas rel, kemudian *rib-rib* nya disetel membentuk tampang terowongan dengan bantuan *Hydraulic Push-Pull Ram*.



Gambar 5. 34. *Formwork Arch*

Pada umumnya *formwork arch* mengalami kerusakan pada saat pelepasan dan pemasangannya kembali, sehingga memerlukan waktu tambahan. Oleh karena itu *formwork* dibuat teleskopik. Sehingga pada saat akan melepas *formwork*, *bout rib* pada *invert* dilepas terlebih dulu, kemudian *steel form* dilipat ke dalam (dikuncupkan). Setelah traveller digeser ke segmen berikutnya yang akan dicor, *steel form* dikembangkan lagi, begitu seterusnya.

Bila pengecoran dilakukan sekaligus, maka cara pengecorannya beton dituangkan melalui puncaknya, membentuk *slope*.



Gambar 5. 35. Bagian *Arch* Yang Telah Dicor *Formwork Arch*

BAB VI KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perkuatan Talud Pada Mulut Terowongan Dan Alternatif Metode Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan Pada Proyek Notog BH 1440” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Talud pada area outlet Terowongan Notog BH 1440 memiliki tanah asli yang mayoritas merupakan batuan.
2. Diperlukan perkuatan pada arah memanjang dan melintang terowongan berdasarkan hasil analisa program bantu xtable.
3. Digunakan perkuatan dengan menggunakan *ground anchor*, yaitu panjang grouting:
 - Arah Memanjang : 10 m dengan
 $P_{1 \text{ angkur}} = 322.34 \text{ kN}$
 - Arah Melintang
 - Kanan : $L_1 = 7.5 \text{ m}$ dengan
 $P_{1 \text{ angkur}} = 351.725 \text{ kN}$
 $L_2 = 8.5 \text{ m}$ dengan
 $P_{1 \text{ angkur}} = 382.901 \text{ kN}$
 - Kiri : $L_1 = 8.5 \text{ m}$ dengan
 $P_{1 \text{ angkur}} = 384.369 \text{ kN}$
 $L_2 = 10 \text{ m}$ dengan
 $P_{1 \text{ angkur}} = 365.222 \text{ kN}$
4. Biaya yang diperlukan untuk perkuatan sebesar Rp2.761.200.000
5. Dipilih metode *drill and blast* sebagai alternative metode pelaksanaan terowongan

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (1995). **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)**. (N. Endah, & I. B. Mochtar, Trans.) Surabaya: Erlangga.
- Terzaghi, K. and Peck R.B. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edition. Jakarta: Erlangga.
- Google Earth (2017). Google Corporation.

LAMPIRAN

Lampiran 1
Gambar Topografi Terowongan

Lampiran 2
Data Bor Log

Project					Railway Double Track, Notog Tunnel, Hanyanshan		Depth		30 m		Drill Rig		UD-5																		
Site		Tunnel		Coordinate		X:		Y:		Inclination		Vertical		Drilled By		Jiunadi															
Elevation		-		Meter		Date		26-Dec		to		29-Dec-06		GWL		- 3 m															
Date		-		Elevation (m)		G.W.L.		Formation		Column Section		Description		SPT N-Value Number of Blows per 30 Cm Penetration		Cure Recovery (%)		RQD (%)		Age/Permeability		Rock		Classification		Core Barrel Type & Bit Type		Casing Pipe		Depth (m)	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
26-Dec-06		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	

DRILL LOG

Hole No : B - 3

Sheet No. : 2 of 2

[illegible]

DRILL LOG

Hole No : B - 4

Sheet No. : 2 of 4

Project			Railway Double Track, Noring Tunnel, Baayumas					Depth		70 m		Drill Rig		UD-5				
Site			Tunnel		Coordinate		X:	Y:	Inclination		Vertical		Drilled By		Kusrianto			
Elevation			-		Meter		Date		1-Jan to 12-Jan-17		GWL		- 32 m		Logged By		Rosihan	
Date	Depth (m)	G.W.L.	Elevation (m)	Formations	Column Section	Description	SPT N-Value Number of Blows per 30 Cm Penetration	Core Recovery (%)		RQD (%)		Logbook Penetration	Block Classification	Core Barrel & Bit Type	Casing Pipe	Depth (m)		
8-Jan-17	26					18.0 - 31.4 m SANDSTONE dark grey (fresh) and yellowish grey (weathered), weak calcareous, angular to sub-angular mostly rough to slightly rough surface cracking cracking 26.3-26.5 (80°), 28.7 (60°), 29.4-29.5 (80°), 30.7 (60°), 31.2 (60°)		100		0			1.07E-04	CL-CM			26	
	100		20					27										
	100		10					28										
	100		10					29										
	100		10					30										
8-Jan-17	31							90		30			4.13E-05			31		
	100		10					32										
	100		10					33										
	100		50					34										
	100		70					35										
8-Jan-17	36					31.4 - 70.0 m CLAYSTONE light grey to greenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone SANDSTONE, dark grey, medium to coarse grained, bad sorted, weak calcareous contain some crack with smooth surface and found some slickenside on depth 47.2 (50°) and 49.1 (80°)		100		50			5.57E-05	CL-CM			36	
	100		10					37										
	100		10					38										
	95		70					39										
	100		10					40										
8-Jan-17	41					cracking 34.6 (45°), 41.4 (60°), 44.9 (60°), 53.3 (70°), 53.5 (70°), 55.7 (15°), 61.4-61.6 (80°), 64.1-64.2 (70°)		100		70			4.79E-05				41	
	100		10					42										
	100		50					43										
	95		60					44										
	100		50					45										
8-Jan-17	46							100		20			3.20E-05				46	
	100		40					47										
	100		10					48										
	100		0					49										
	100		0					50										

DRILL LOG

Hole No : B - 5

Sheet No. : 1 of 4

Project		Railway Double Track, Noting Tunnels, Banyumas						Depth		45 m		Drill Rig		UD-5			
Site		Tunnel		Coordinate		X:	Y:	Inclination	Vertical	GWL		Drilled By		Jamadi			
Elevation		Meter		Date		6-Jan		to 10-Jan-17		GWL		-3.5 m		Logged By		Reshin	
Data	Depth (m)	G.W.L.	Elevation (m)	Formation	Column Section	Description	SPT N - Value Number of Blows per 30 Cm Penetration	Cone Recovery (%)	RQD (%)	Loggers/ Back Classification	Cut Barrel Classification & Bit Type	Casing Pipe	Depth				
6-Jan-17	1					0.0 - 2.0 m Surface Soil		100	0								
	2					sandy CLAY, dark brown, stiff, medium plastic, moist, contain some roots	36	100	0								
	3					2.0 - 3.3 m CLAYSTONE		100	0	1.12E-05	D						
	4					light grey to brownish grey - calcareous, high to compely weathered	50	100	0								
	5							100	70								
	6							100	80								
	7							100	80								
	8							100	80								
	9							100	90	3.82E-05							
	10					11.7 - 45.0 m CLAYSTONE		95	30								
9-Jan-17	11					light grey to greenish grey, calcareous (MARL), fresh, intercalated with sandstone		100	30								
	12					SANDSTONE, dark grey, medium to course grained, bad sorted, calcareous (weak)		100	60								
	13					contain crack mostly with smooth surface and found some rough surface and on depth 17.5-18.5 there is vertical crack 85° with rough surface		95	80	7.95E-05							
	14					cracking		95	90								
	15					4.1 (40°), 4.9 (30°), 8.2 (70°), 8.8 (60°), 9.1 (60°), 9.3 (70°), 9.5 (80°), 10.2 (45°), 10.6 (40°), 11.5 (60°), 12.3 (60°), 12.7 (40°), 12.8 (60°), 14.2 (70°), 15.2 (80°), 15.5 (80°), 15.8 (60°), 16.3 (70°), 16.7 (65°), 18.7 (80°), 19.8 (80°), 20.4 (40°), 20.7 (50°), 23.2-23.5 (70°), 24.6 (50°), 25.4 (80°), 27.2 (40°), 27.8 (70°), 28.2 (50°), 28.7 (70°), 29.5 (40°), 33.5-33.7 (85°), 35.8 (40°), 36.6 (70°)		95	70								
	16							100	20								
	17							95	10	9.44E-05							
	18							90	10								
	19							95	60								
	20							95	90								
8-Jan-17	21							100	30	6.38E-05							
	22							100	80								
	23							100	80								
	24							100	80								
	25							100	80								

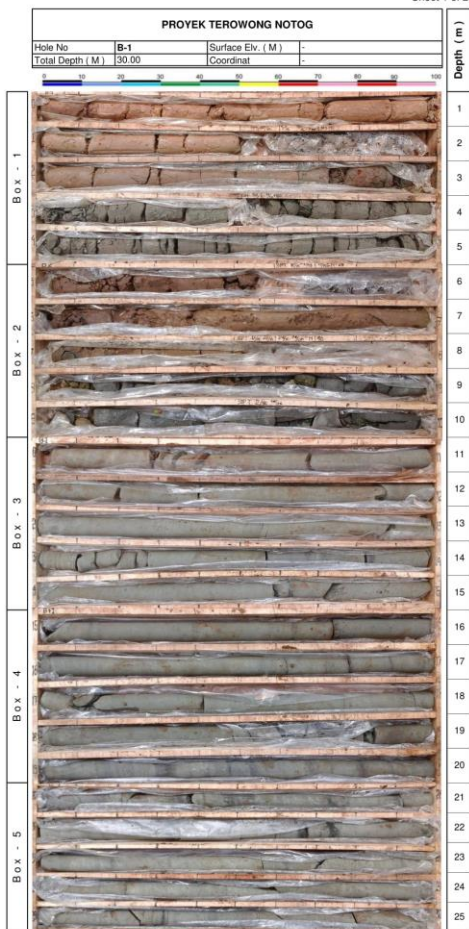
Lampiran 3
Data Laboratorium

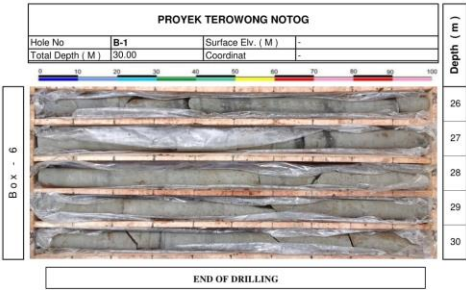
SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT TEROWONG NOTOG BANYUMAS												
PROJECT	LOCATION											
SAMPLE No	DEPTH (m)	B - 4			B - 5			B - 6				
		34.10 - 34.80	56.00 - 56.70	62.30 - 63.00	16.30 - 17.00	31.00 - 31.80	36.70 - 37.40	4.20 - 5.00	11.60 - 12.30	16.00 - 16.80		
PROPERTIES	Natural Water Content (%)											
	Specific gravity of soil G_s											
	Wet density γ_{wet} (g/cm ³)											
	Dry density γ_d (g/cm ³)											
	Void ratio e											
PROPERTIES	Saturated density γ_{sat} (g/cm ³)											
	Submerged density γ_{sub} (g/cm ³)											
	Degree of Saturation S_r %											
	Bulk Dry Basis											
	Saturated Surface Dry Condition											
SPECIAL GRAVITY & ABSORPTION	Apparent											
	Absorption											
	Cohesion											
	Internal friction angle ϕ											
	Apparent											
DIRECT SHEAR	Cohesion											
	Internal friction angle ϕ											
	Cohesion											
	Internal friction angle ϕ											
	Compressive Strength q_u											
UNIAxIAL COMPRESSIVE STRENGTH	Modulus											
	Elasticity											
	Poisson's Ratio											
	Axial Strain											
	%											

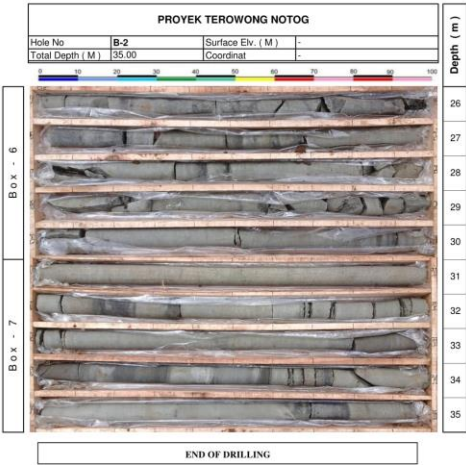
Lampiran 4

Dokumentasi *Core Box* Proyek Terowongan Notog BH 1440















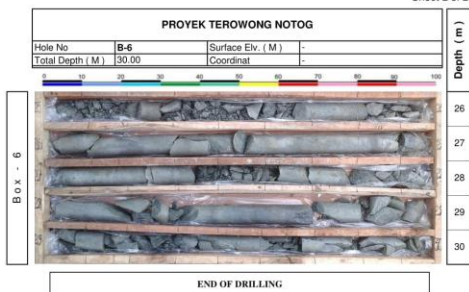






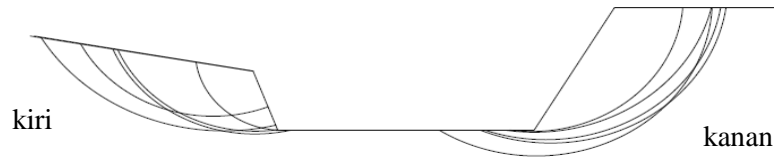






Lampiran 5
Kontur dan Potongan Melintang Mulut Terowongan Notog
BH 1440

Lampiran 6
Perhitungan Ground Anchor



jarak (m)	H lereng (m)	M resisten (kNm)	SF lapangan	Cu (kN/m ²)	M dorong (kNm)	M res rencana (kNm)	Δ MR (kNm)	Jarak pasang (m)
7 m kanan	9.2	3841	0.963	200	3988.5774	4985.7217	997.1443	2
		6501	0.974	200	6674.5380	8343.1725	1668.6345	2
		6478	1.156	200	5603.8062	7004.7578	1400.9516	2
		6219	0.955	200	6512.0419	8140.0524	1628.0105	2
		5782	0.913	200	6332.9682	7916.2103	1583.2421	2
7 m kiri	3.5	6860	0.928	200	7392.2414	9240.3017	1848.0603	2
		1882	0.566	200	3325.0883	4156.3604	831.2721	2
		1425	0.675	200	2111.1111	2638.8889	527.7778	2
		7095	0.541	200	13114.6026	16393.2532	3278.6506	2
		1341	0.68	200	1972.0588	2465.0735	493.0147	2

jarak (m)	H lereng (m)	M resisten (kNm)	D MR aktual (kNm)	R (m)	\emptyset (°)	$\tan\emptyset$	N anchor (kN)	β_1 (°)	β_2 (°)	$\cos\beta_1$	$\cos\beta_2$
7 m kanan	9.2	3841	1994.289	9.78	40	0.8391	243.016	7	29	0.993	0.875
		6501	3337.269	11.4	40	0.8391	349.798	6	24	0.995	0.914
		6478	2801.903	12.4	40	0.8391	270.160	15	33	0.966	0.839
		6219	3256.021	11.5	40	0.8391	338.012	13	32	0.974	0.848
		5782	3166.484	11.4	40	0.8391	330.155	13	32	0.974	0.848
7 m kiri	3.5	6860	3696.121	12.4	40	0.8391	356.381	22	40	0.927	0.766
		1882	1662.544	13.7	40	0.8391	145.153	53	65	0.602	0.423
		1425	1055.556	9.9	40	0.8391	127.067	41	54	0.755	0.588
		7095	6557.301	9.58	40	0.8391	815.729	60	-	0.500	-
		1341	986.029	9.62	40	0.8391	122.152	42	55	0.743	0.574

jarak (m)	H lereng (m)	M resisten (kNm)	SF lapangan	P1 (kN)	P2 (kN)	n buah	L1 (m)	Lpakai (m)	L2 (m)	Lpakai (m)
7 m kanan	9.2	3841	0.963	244.841	277.854	2	5.198	6	5.899	6
		6501	0.974	351.725	382.901	2	7.468	8	8.130	9
		6478	1.156	279.690	322.129	2	5.938	6	6.839	7
		6219	0.955	346.903	398.576	2	7.365	8	8.462	9
		5782	0.913	338.839	389.311	2	7.194	8	8.266	9
7 m kiri	3.5	6860	0.928	384.369	465.222	2	8.161	9	9.877	10
		1882	0.566	241.193	343.462	2	5.121	6	7.292	8
		1425	0.675	168.365	216.179	2	3.575	4	4.590	5
		7095	0.541	1631.459	-	2	34.638	35	-	-
		1341	0.68	164.372	212.966	2	3.490	4	4.522	5

BIODATA PENULIS

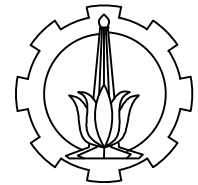


Viena Ananda Ari Sembiena
Penulis dilahirkan di Surabaya, 2 Januari 1996, merupakan anak ke-2 dari pasangan suami istri Muslimin dan Evi Agustina Erawati. Tumbuh dan berkembang di keluarga yang selalu mengajarkan untuk tidak menyerah dengan apapun permasalahan yang ada dan terus berjuang untuk mencapai cita-cita. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Falah Tropodo 1, SD Al-Falah Tropodo 2, SMP Al-Falah Deltasari, SMAN 3 Malang pada tahun 2014,

kemudian melanjutkan studinya di S1 Teknik Sipil FTSLK-ITS dan terdaftar dengan NRP 03111440000085. Di S1 Teknik Sipil FTSLK-ITS penulis mengambil bidang studi struktur gedung. Penulis selama menempuh Pendidikan di S1 Teknik Sipil ITS aktif mengikuti beberapa kegiatan baik itu seminar, kepanitiaan maupun pengurus Himpunan.

Contact Person:

Email : viviena2196@gmail.com



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSLK – ITS

TUGAS AKHIR
(RC14–1501)

"PERKUATAN TALUD PADA
MULUT TEROWONGAN DAN
ALTERNATIF METODE
PELAKSANAAN PEKERJAAN
TEROWONGAN PADA PROYEK
NOTOG BH 1440"

NAMA GAMBAR

DENAH LANTAI 1

SKALA GAMBAR

1 : 250

NO
GAMBAR

JUMLAH
GAMBAR

1

4

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. Indrasurya B.
Mochtar, Msc. PhD

DOSEN PEMBIMBING I

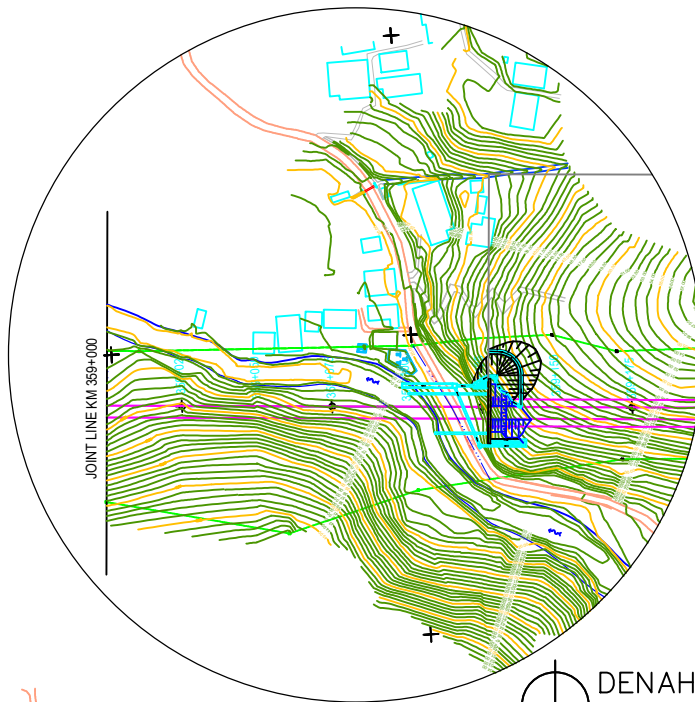
Trihanydio Rendy Satrya,
ST., MT.

NAMA MAHASISWA

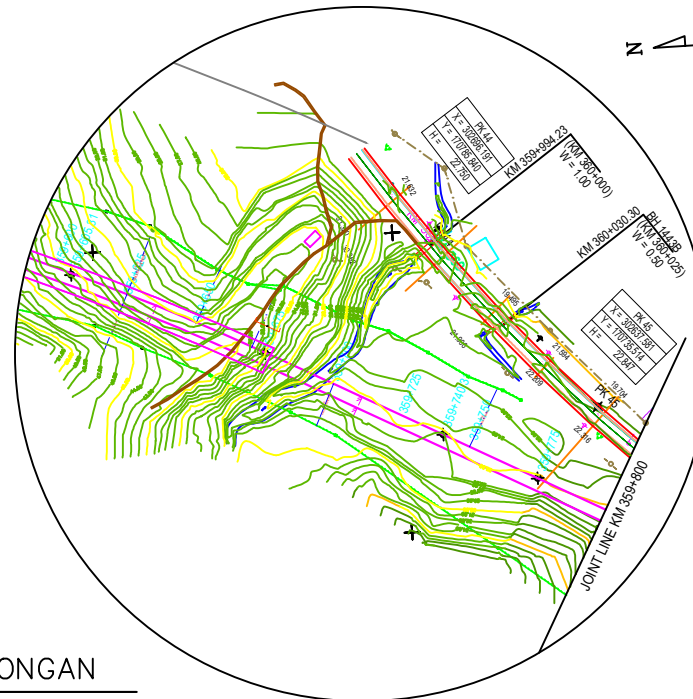
Viena Ananda Ari S.

NRP MAHASISWA

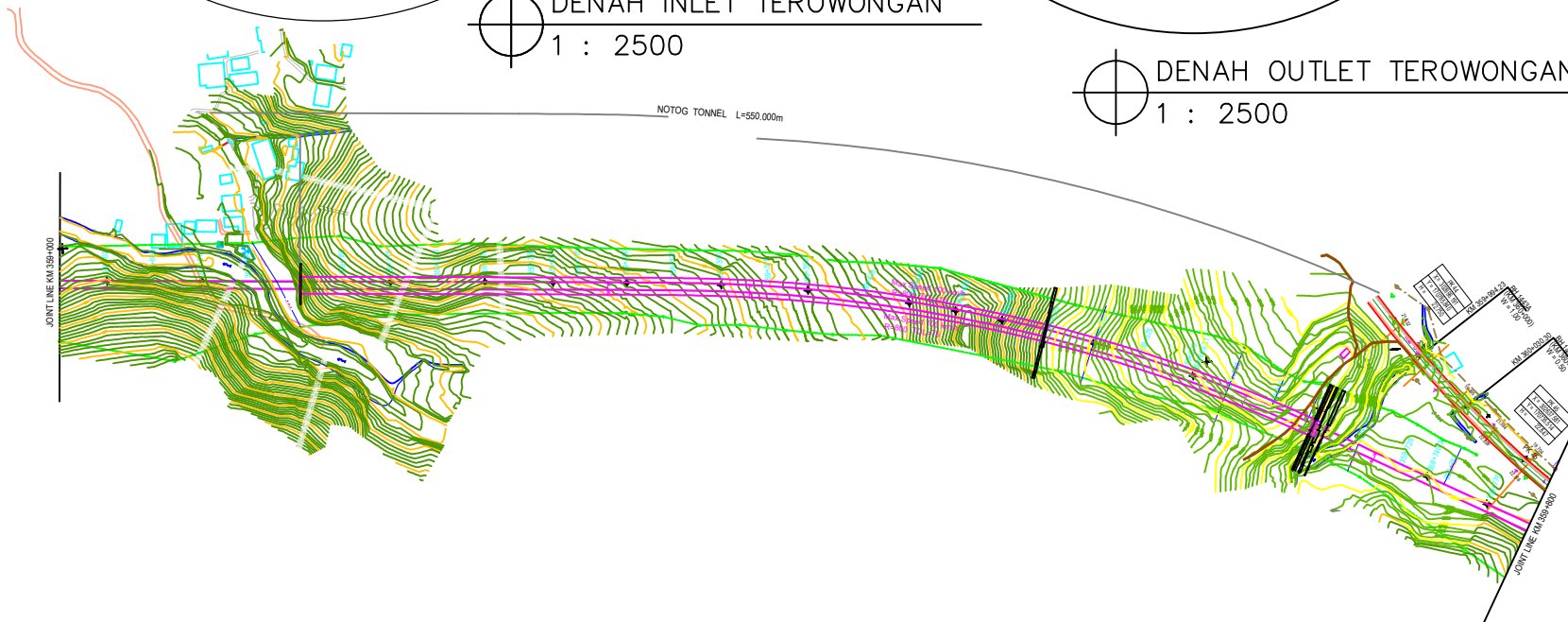
03111440000 085



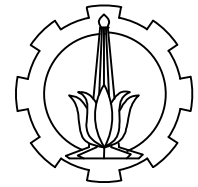
DENAH INLET TEROWONGAN
1 : 2500



DENAH OUTLET TEROWONGAN
1 : 2500



DENAH TEROWONGAN
1 : 3750



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSLK – ITS

TUGAS AKHIR
(RC14–1501)

"PERKUATAN TALUD PADA
MULUT TEROWONGAN DAN
ALTERNATIF METODE
PELAKSANAAN PEKERJAAN
TEROWONGAN PADA PROYEK
NOTOG BH 1440"

NAMA GAMBAR

LAYOUT SISI OUTLET
TEROWONGAN

SKALA GAMBAR

1 : 500

NO
GAMBAR

2

JUMLAH
GAMBAR

4

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. Indrasurya B.
Mochtar, Msc. PhD

DOSEN PEMBIMBING I

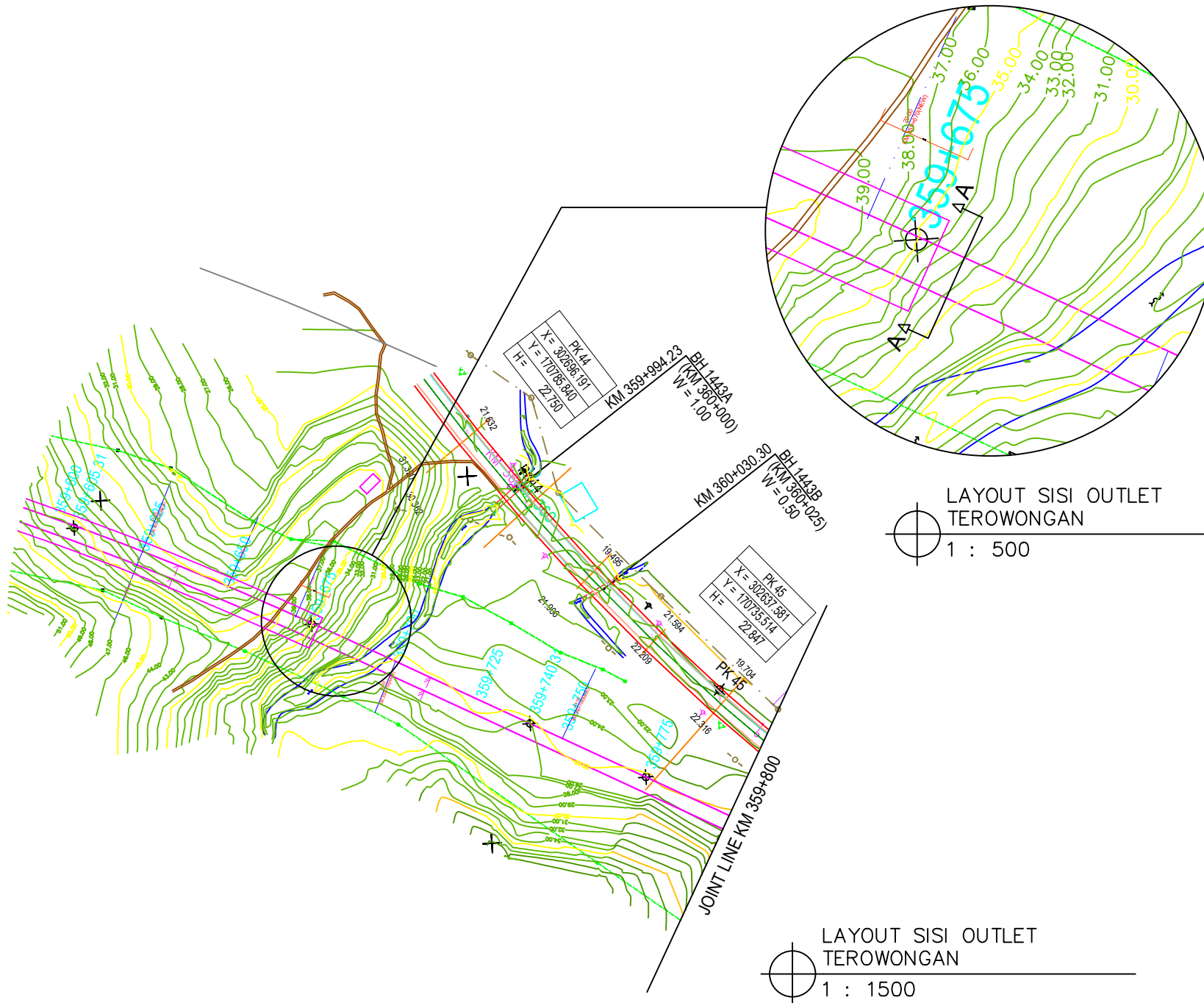
Trihanydio Rendy Satrya,
ST., MT.

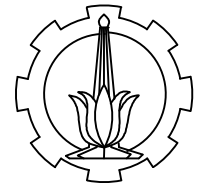
NAMA MAHASISWA

Viena Ananda Ari S.

NRP MAHASISWA

03111440000 085





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSLK – ITS

TUGAS AKHIR (RC14–1501)

"PERKUATAN TALUD PADA
MULUT TEROWONGAN DAN
ALTERNATIF METODE
PELAKSANAAN PEKERJAAN
TEROWONGAN PADA PROYEK
NOTOG BH 1440"

NAMA GAMBAR

DENAH LANTAI 1

SKALA GAMBAR

1 : 250

NO
GAMBAR

JUMLAH
GAMBAR

3

4

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. Indrasurya B.
Mochtar, Msc. PhD

DOSEN PEMBIMBING I

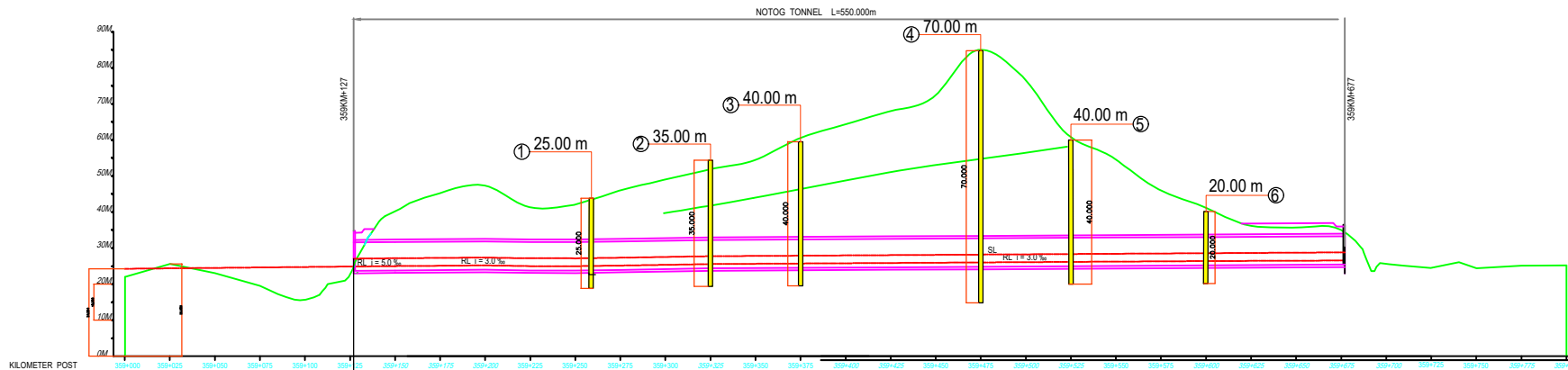
Trihanydio Rendy Satrya,
ST., MT.

NAMA MAHASISWA

Viena Ananda Ari S.

NRP MAHASISWA

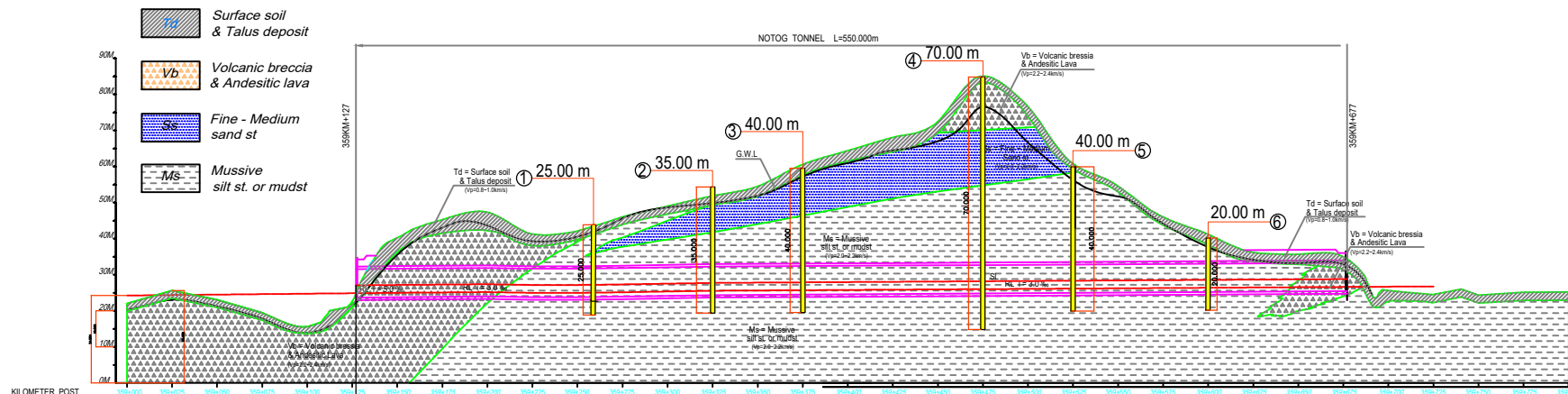
03111440000 085



TITIK PENGEBORAN
TEROWONGAN



1 : 3750



PENAMPANG TEROWONGAN



1 : 3750